

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Návrh kogenerační jednotky v areálu kolejí VŠB-TUO

Design of Cogeneration Unit on the College Area of VSB-TUO

Student: Bc. Michal Pecháček
Vedoucí diplomové práce: Ing. Michal Židek, Ph.D.

Ostrava 2011

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Michal Pecháček

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

2302T006 Energetické stroje a zařízení

Téma:

Návrh kogenerační jednotky v areálu kolejí VŠB-TUO
Design of Cogeneration Unit on the College Area of VŠB-TUO

Zásady pro vypracování:

Vypracujte návrh instalace kogenerační jednotky pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla pro areál kolejí VŠB-TUO. Vycházejte ze stávající potřeby tepla a elektrické energie.

Obsah:

1. Popište stávající systém dodávek tepla a elektrické energie. Definujte stávající energetické vstupy a výstupy
2. Vyhodnoťte potřeby tepla denostupňovou metodou.
3. Navrhněte výkon KGJ pro palivo rostlinný olej a zemní plyn. Srovnajte kogenerační jednotky na rostlinný olej a zemní plyn.
4. Stanovte energetickou bilanci navržených KGJ. Analyzujte možnost instalace akumulární nádoby.
5. Proveďte základní ekonomické vyhodnocení KGJ. Výkres napojení KGJ na stávající systém.
6. Výkres akumulární nádoby – v případě, že bude nutná.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. ČSTZ, s.r.o. – Topenářská příručka, Agentura ČSTZ, s.r.o., Praha 2007 - ISBN 978-80-86028-13-2
2. Emil Dvorský, Pavla Hejtmánková – Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla, BEN – technická literatura, Praha 2005 – ISBN 80-7300-118-7
3. ČSN EN 12 831 Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu, 2005
4. ČSN 06 0310 Tepelné soustavy v budovách – Projektování a montáž, 2006


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

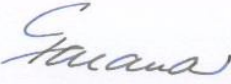
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Michal Židek, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



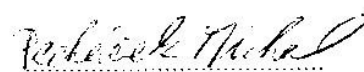

prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

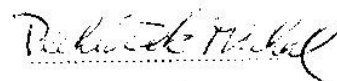
V Ostravě 4. 5. 2011


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 4. 5. 2011



podpis

Jméno a příjmení autora práce: Michal Pecháček

Adresa trvalého pobytu autora práce: Na Výsluní 1106, Lanškroun, 563 01

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Pecháček, M. *Návrh kogenerační jednotky v areálu kolejí VŠB-TUO : diplomová práce.* Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2011, 72 s. Vedoucí práce: Židek, M.

Tato diplomová práce je zaměřena na návrh kogenerační jednotky, tedy zdroje elektrické energie a tepla pro areál kolejí VŠB – TU Ostrava. V úvodní rešerši uvádím druhy kogeneračních technologií, jejich parametry a srovnání. Vlastní návrh řešení obsahuje čtyři varianty. První dvě jednotky jsou provozovány na rostlinný olej, druhé dvě na zemní plyn. Následuje návrh akumulační nádoby a výpočet energetické bilance pro jednotlivé varianty. Na konci práce je ekonomické vyhodnocení variant a jejich porovnání podle druhu použitého paliva. Výsledkem práce je vyhodnocení nejlepší varianty. Jako nejvýhodnější byla zvolena třetí varianta, která je provozována na zemní plyn a dosáhne nejvyššího zisku na konci hodnoceného období. Jednotky provozované na rostlinný olej byly shledány jako ekonomicky nevýhodné.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

Pecháček, M. *Design of Cogeneration Unit on the College Area of VSB-TUO : Master Thesis.* Ostrava : VSB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of energy, 2011, 72 p. Thesis head: Židek, M.

This Master Thesis is oriented on design of cogeneration unit, a source of electric power and a heat for the college area of VSB – TU Ostrava. At the beginning I show a type of cogeneration technologies, their characteristics and comparsion. Own concept solution includes four options. The first two units run on vegetable oil, the other two on natural gas. Then follows a design storage vessel and a calculation the energy balance for each variant. The economic evaluation of options and comparsion them by each type of used fuel are shown at the end of the work. As a result is evaluate the best options. As optimal was chosen the third variation, which runs on natural gas and achieve the highest profit at the end of the reporting period. The units run on vegetable oil that were found as a economically disadvantageous.

OBSAH:

Seznam použitého značení	7
Úvod	9
1. Aktuální stav kogenerace v ČR	10
2. Úvod do problematiky KVET.....	13
2.1. Kogenerační systémy.....	13
2.2. Druhy kogeneračních technologií	15
2.3. Parametry kogeneračních jednotek	18
2.4. Provozní režimy kogeneračních jednotek.....	21
2.5. Paliva	22
2.6. Srovnání primárních jednotek.....	24
3. Spalovací motory	26
3.1. Parametry spalovacích motorů.....	27
3.2. Provozní charakteristiky spalovacích motorů	29
3.3. Příklady spalovacích motorů jako KJ	31
3.4. Rostlinný olej ve spalovacích motorech.....	33
4. Návrh kogenerační jednotky.....	35
4.1. Popis stávajícího stavu - energetické vstupy a výstupy.....	35
4.1.1. Zásobování elektřinou.....	35
4.1.2. Zásobování teplem.....	37
4.1.3. Zásobování zemním plynem	40
4.2. Vyhodnocení potřeby tepla denostupňovou metodou	41
4.3. Návrh kogenerační jednotky	45
4.3.1. Technické řešení KJ.....	45
4.3.2. Návrh výkonu	47
4.4. Analýza možnosti instalace akumulční nádoby	50
4.5. Energetická bilance navržených KJ.....	56
4.6. Základní ekonomické vyhodnocení navržených variant	64
4.6.1. Investiční náklady.....	64
4.6.2. Provozní náklady a příjmy	64
4.6.3. Ekonomická bilance.....	65
4.7. Srovnání KJ na rostlinný olej a zemní plyn	68
5. Závěr.....	69
6. Použité zdroje.....	71
7. Seznam příloh.....	72

Seznam použitého značení

Použité značení a symboly:

A	technická práce	[J]
D°	denostupeň	[1]
E	elektrická energie	[Ws]
N	investiční náklady	[€/kW _E]
P _E	elektrický výkon	[W]
P _T	tepelný výkon	[W]
Q	teplo, spotřeba tepla	[J]
Q _{1dg}	spotřeba tepla pro vytápění na jeden denostupeň	[GJ/D°]
Q _c	jmenovitá potřeba tepla	[MW]
Q _{zj}	tepelný výkon pro nabíjení zásobníku	[kW]
T	teplota	[K]
T _ž	doba životnosti KJ	[roky]
V _z	objem akumulární nádoby	[m ³]
c	měrná tepelná kapacita vody	[kWh/m ³]
e	modul teplárenské výroby elektrické energie	[1]
t _e	výpočtová venkovní teplota	[°C]
t _i	výpočtová vnitřní teplota	[°C]
t _n	výpočtová teplota nabíjecí vody	[°C]
t _z	výpočtová teplota zpětné vody	[°C]
v	měrný hmotnostní poměr	[m ³ /kg]
ε	kompresní poměr	[1]
η	účinnost	[1, %]
τ	počet hodin provozu otopného systému za den	[h/den]
τ _n	doba nabíjení zásobníku	[h]
φ	plnění motoru	[1]
χ	Poissonova konstanta	[1]

Zkratky:

CO	oxid uhelnatý
CO ₂	oxid uhličitý
ČR	Česká republika
EE	elektrická energie
ERÚ	Energetický regulační úřad
GO	generální oprava
IRR	vnitřní výnosové procento
KJ	kogenerační jednotka
KS	kogenerační systém
KVET	kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie
NN	nízké napětí
NO _x	oxidy dusíku
NPV	čistá současná hodnota
NT	nízkotlaká
ODV	oddělená výroba
ORC	organický Rankinův cyklus
P1	Provoz 1
P2	Provoz 2
P3	Provoz 3
PEZ	primární energetické zdroje
PJ	primární jednotka
SO ₂	oxid siřičitý
TV	teplá voda
TZL	tuhé znečišťující látky
VN	vysoké napětí
VŠB-TUO	Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
VT	vysokotlaká
ZP	zemní plyn
apod.	a podobně
atd.	a tak dále
cca.	přibližně
např.	například
tj.	to jest

Úvod

Energie je pro člověka prakticky nepostradatelná záležitost. Ať je to energie elektrická, tepelná nebo mechanická. Setkává se s ní a používá jí po celý svůj život. Požadavky člověka na spotřebu energie se neustále zvyšují. Lze to vidět na vysokém rozvoji energetiky v současné době téměř po celém světě. Z tohoto důvodu je důležité, věnovat pozornost výrobě energií a starat se o jejich dostatek výstavbou energetických zařízení, které ji dodávají.

Kogenerační jednotky hrají v energetice důležitou roli. Vyrábí elektrickou a tepelnou energii současně a díky jejich schopnostem, lze dosáhnout daleko vyššího využití paliva, než při výrobě elektřiny a tepla v oddělených zařízeních. Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie je také uznávána jako ekologicky šetrný způsob transformace energie, protože méně zatěžuje životní prostředí. Využíváním kogenerace jako decentralizovaných energetických zdrojů se zvyšuje spolehlivost dodávky energií. V dnešní době se vyrábí jednotky od výkonu několika kW až po jednotky s výkonem několika set MW, což umožňuje jejich využití téměř ve všech oblastech výroby elektřiny a tepla.

V první kapitole jsou uvedeny informace o aktuálním stavu kogenerace v České republice. Druhá kapitola potom tvoří úvod do problematiky kombinované výroby elektřiny a tepla a třetí kapitola pojednává o spalovacích motorech v oblasti kogenerace.

V praktické části je nejdříve popsán stávající systém energetických vstupů a výstupů. Následuje vyhodnocení potřeby tepla denostupňovou metodou, návrhy výkonů kogenerační jednotky pro palivo rostlinný olej a zemní plyn. Je zde také prověřena možnost instalace akumulární nádoby. Nakonec je stanovena energetická bilance kogeneračních jednotek, jejich základní ekonomické vyhodnocení a srovnání podle druhu použitého paliva.

1. Aktuální stav kogenerace v ČR

Následující údaje vznikly na základě šetření Ministerstva průmyslu a obchodu. Data odpovídají situaci v roce 2008. V tomto roce provozovalo kogenerační výrobu celkem 252 firem. Společnosti měly uvést veškeré hodnoty kogenerační výroby tak, jak se stanovují podle vyhlášky č. 439/2005 Sb. a rozdělit je podle jednotlivých paliv.

Palivo	Firem	Počet zař.	Elektrický výkon (MW)	Tepelný výkon (MW)	Výroba elektřiny (GW.h)	Výroba tepla (TJ)	Vsázka	Jednotka
Hnědé uhlí	39	109	7 133	21 197	6 159	69 072	9 114	tis. t
Černé uhlí	14	31	1 998	5 613	2 639	25 410	2 122	tis. t
Oleje	15	16	193	924	168	4 012	127	tis. t
Biomasa	16	-	-	-	192	3 888	726	tis. t
Odpady	3	3	3	32	19	746	94	tis. t
Kapalná paliva	2	2	9	79	5	188	6	tis. t
Zemní plyn	152	429	614	2 439	952	10 348	4 713	GW.h
Bioplyn	81	183	49	63	138	789	84	mil. m ³
Ostatní plyny	11	27	175	314	1 098	8 646	3 969	mil. m ³
Odpadní teplo	3	3	9	24	36	356	900	TJ
Celkem	-	803	10 182	30 684	11 406	123 455	228 419	TJ

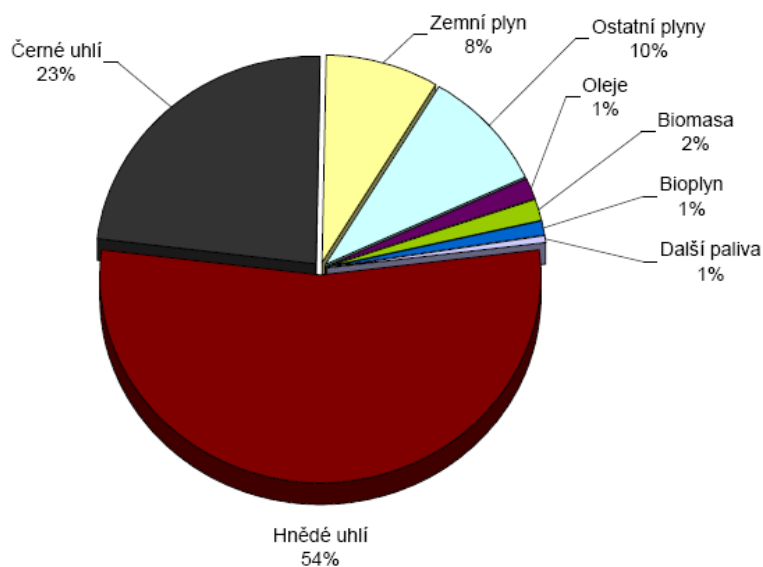
Tab. 1.1. Rozdělení KVET v roce 2008 podle jednotlivých paliv [4]

Firem – počet firem využívajících dané palivo pro kogeneraci, pokud má firma více druhů paliv, je v tabulce započtena u každého zvlášť.

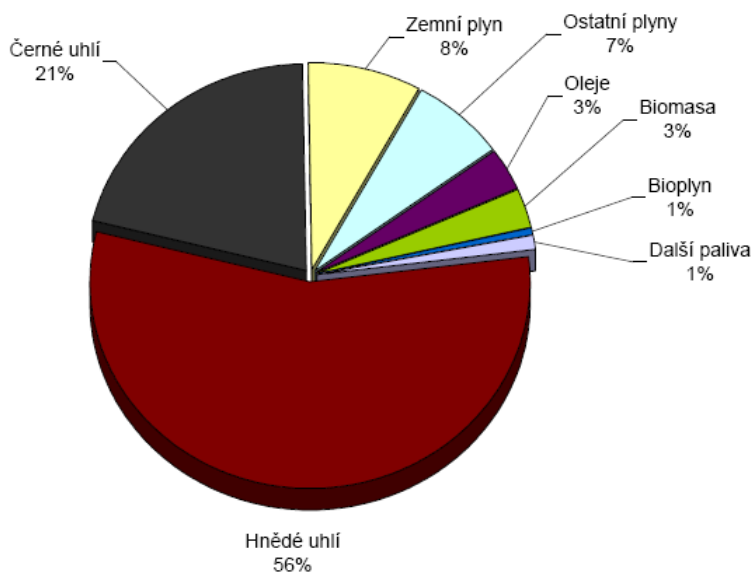
Počet zařízení – počet zařízení pro kogeneraci. Pokud se jedná o spalování více druhů paliv, je zařízení započítáno jen pro palivo, které má hlavní energetický podíl.

Výroba tepla – je teplo, které bylo využito (ne pro vlastní spotřebu výroby elektřiny a tepla).

Vsázka – je spotřeba daného paliva pro KVET. U každé skupiny je uvedena jednotka.



Graf. 1.1. Podíl paliv na výrobě elektřiny z KVVET v roce 2008 [4]



Graf. 1.2. Podíl paliv na výrobě tepla z KVVET v roce 2008 [4]

Palivo	Výroba elektřiny celkem (GW.h)	Výroba elektřiny z KVVET (GW.h)	Podíl elektřiny z KVVET (%)	Výroba tepla 2007 (TJ)	Výroba tepla z KVVET (TJ)	Podíl tepla z KVVET (%)
Hnědé uhlí	42 347	6 159	15%	91 064	69 072	76%
Černé uhlí	5 885	2 639	45%	31 182	25 410	81%
Oleje	229	168	73%	13 134	4 012	31%
Biomasa	1 171	192	16%	15 514	3 888	25%
Odpady	19	19	100%	3 923	746	19%
Kapalná paliva	5	5	100%	5 394	188	3%
Zemní plyn	1 112	952	86%	128 380	10 348	8%
Bioplyn	267	138	52%	1 002	789	79%
Ostatní plyny	3 227	1 098	34%	18 665	8 646	46%
Odpadní teplo	36	36	100%	8 649	356	4%
Celkem	54 297	11 406	21%	316 905	123 455	39%

Tab. 1.2. Podíl KVVET v roce 2008 na celkové výrobě elektřiny a tepla [4]

Elektřina – celkový podíl kogenerační výroby v roce 2008 na vyrobené elektřině z uvedených paliv byl 21 %. Pokud však výrobu elektřiny z kogenerace vztáhneme k veškeré vyrobené elektřině v ČR za rok 2008, činí její podíl 13,7 %.

Teplo – výroba tepla z KVET je určena z dat za rok 2008. Protože není k dispozici hodnota celkové výroby tepla podle jednotlivých paliv za rok 2008, byl pro určení podílu kogenerace stanoven jako referenční rok 2007 za předpokladu, že celková výroba tepla se mezi roky 2007 a 2008 příliš nezměnila. Výroba tepla v roce 2007 je bez započtení procesního tepla a individuálního vytápění domácností.

Na základě vyhlášky č 439/2005 Sb. mají společnosti nárok na finanční podporu pokud splní podmínku úspory primární energie a minimální účinnosti výroby. Dle cenového rozhodnutí ERÚ č. 2/2010 je stanoven příspěvek k ceně elektřiny vyrobené KVET ve výši uvedené v tabulce Tab. 1.3. Tyto ceny jsou platné pouze pokud výrobce elektřiny využije teplo v daném množství podle vyhlášky 344/2009 Sb.

Výroba elektřiny z kombinované výroby elektřiny a tepla	Výše příspěvku k ceně elektřiny v Kč/MWh		
	Základní pásmo (24 hodin)	VT 8 hodin	VT 12 hodin
Výrobní s instalovaným výkonem do 1 MW včetně, s výjimkou výroby využívající obnovitelné zdroje energie nebo spalující degazační plyn	590	1820	1340
Výrobní s instalovaným výkonem 1 MW až 5 MW včetně, s výjimkou výroby využívající obnovitelné zdroje energie nebo spalující degazační plyn	500	1440	1060
Výrobní s instalovaným výkonem nad 5 MW, s výjimkou výroby využívající obnovitelné zdroje energie nebo spalující degazační plyn	45	-	-
Kombinovaná výroba elektřiny a tepla využívající obnovitelné zdroje energie nebo spalující degazační plyn	45	-	-

Tab. 1.3. Příspěvek k ceně elektřiny vyrobené KVET [5]

Pokud je v kogenerační jednotce použitým palivem rostlinný olej, tak na základě cenového rozhodnutí ERÚ č. 2/2010 platí výkupní cena elektřiny a zelený bonus dle tabulky Tab. 1.4.

Datum uvedení do provozu	Výkupní cena elektřiny dodané do sítě v Kč/MWh	Zelený bonus v Kč/MWh
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O2 v nových výrobních elektřiny nebo zdrojích od 1.1.2008 do 31.12.2011	3530	2560

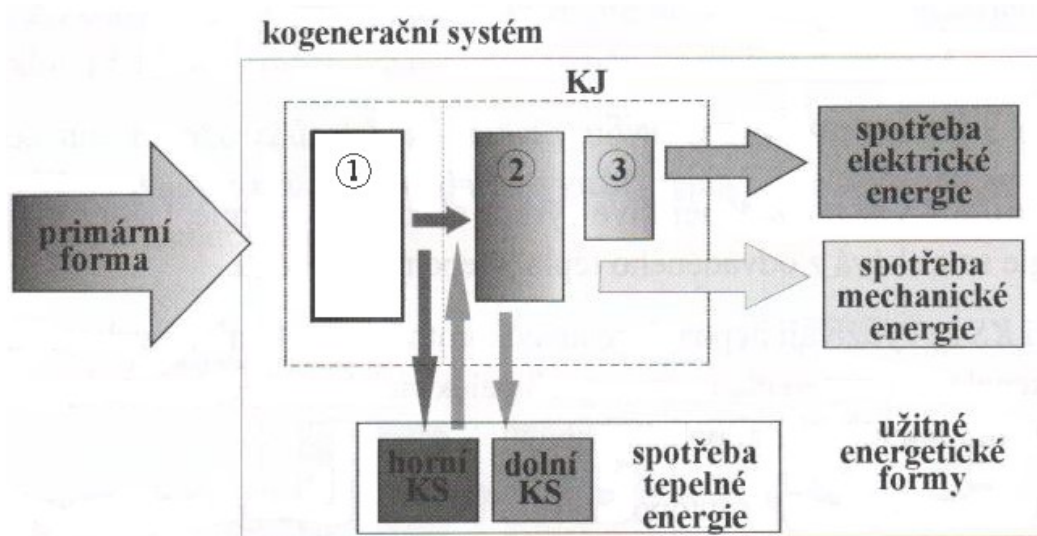
Tab. 1.4. Výkupní cena a zelený bonus pro výrobu elektřiny z biomasy [5]

2. Úvod do problematiky KVET

Kombinovaná výroba elektrické energie a tepla (KVET) nebo-li kogenerace je současná nebo společná výroba elektrické a tepelné energie z primárních zdrojů v energetických strojích, které se nejčastěji nazývají teplárenské jednotky nebo kogenerační jednotky (KJ). Systém, ve kterém dochází k výrobě a dopravě elektrické a tepelné energie se jmenuje kogenerační systém (KS).

2.1. Kogenerační systémy

Kogenerační systémy sestávají z kogenerační jednotky, dopravy a spotřeby konečných forem energie. Jejich základní rozdělení je podle pořadí využívání produkovaných energií na horní kogenerační systémy a dolní kogenerační systémy.



Obr. 2.1. Uspořádání kogeneračních systémů [1]

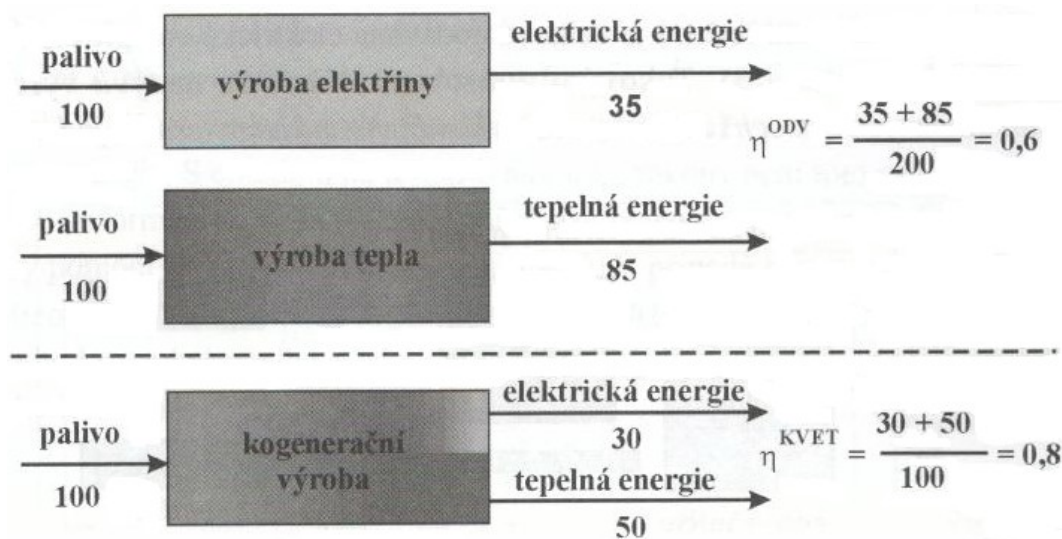
U horních kogeneračních systémů se nejdříve v energetickém zařízení (1) (Obr. 2.1.) získá tepelná energie o vysokých parametrech, která se využívá pro technologické procesy (ocelářské nebo sklářské pece apod.). Potom je teplo přiváděno do energetického zařízení (2) (tepelný motor), kde dochází k vytváření technické práce (mechanická energie), která je pomocí elektrických generátorů (3) měněna na energii elektrickou. Odvedené teplo z tepelného oběhu lze dále použít nebo představuje ztráty vzniklé při transformaci. Tento typ KS je méně využíván, protože pro efektivní výrobu

technické práce je potřeba vysoká vstupní teplota do tepelného oběhu. Tento systém slouží přednostně k výrobě tepelné energie, výroba elektřiny je závislá na potřebě tepla.

U dolního KS se nejdříve vyrábí elektřina a tepelná energie je poté získávána z odváděného tepla tepelného oběhu.

Výhody

- společná výroba elektrické a tepelné energie v KS vede k lepšímu využití paliva
- jednoduchá zapojitelnost ke stávajícím i plánovaným technologiím v průmyslovém, komerčním a bytovém sektoru
- výrobu lze umístit blízko místu spotřeby a tím se snižují ztráty vznikající distribucí elektrické a tepelné energie
- rozvoj konkurence mezi systémy energetického zásobování
- snížení znečišťování životního prostředí

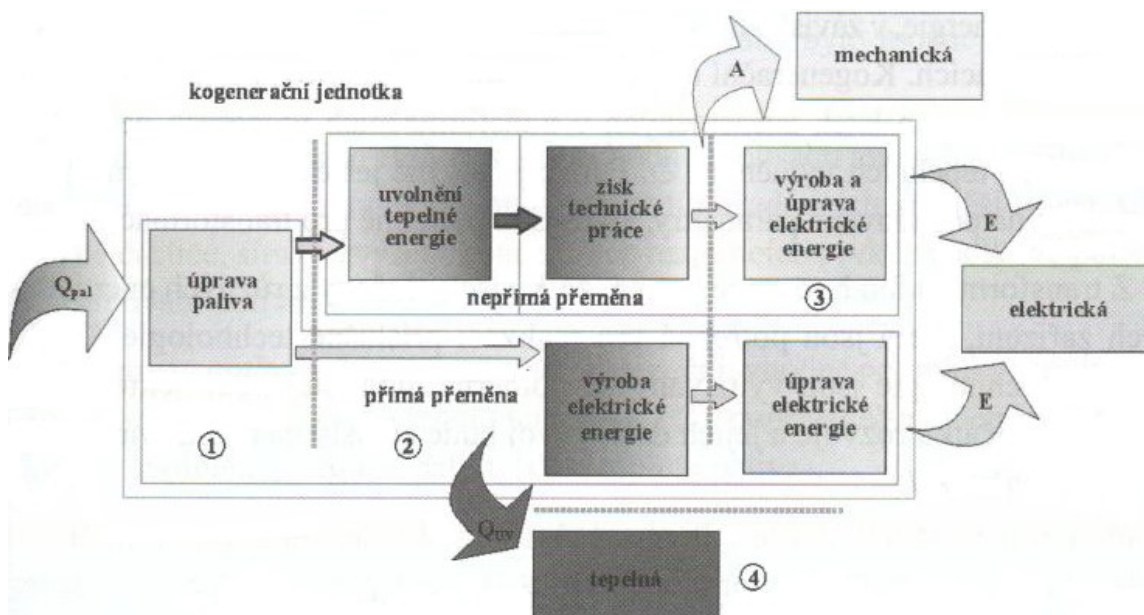


Obr. 2.2. Výrobní řetězec transformace primárního zdroje [1]

Na Obr. 2.2. lze vidět srovnání účinnosti oddělené výroby (ODV) energií s KVET. U ODV uvažujeme účinnost výroby elektrické energie 35 % a tepelné energie 85 %. Kogenerace může přispět k vyšší účinnosti využívání paliva než je tomu u oddělené výroby energií. Zvýšení účinnosti vede k omezení nepříznivých důsledků využívání primárních zdrojů a při vhodné konfiguraci a provozu i ke snížení provozních nákladů oproti oddělené výrobě.

2.2. Druhy kogeneračních technologií

Způsoby, kterými lze transformovat energii obsaženou v palivu Q_{pal} na elektrickou energii E (Obr. 2.3.) při doprovodném využití tepla Q_{UV} se nazývají kogenerační technologie. Podle počtu transformací se přeměna energie provádí nepřímým či přímým způsobem. U obou způsobů vzniká přeměna energií pomocí transformační jednotky, která se nazývá primární jednotka (2).



Obr. 2.3. Transformace primární energie v kogeneračních jednotkách [1]

Nepřímý způsob: Přeměna energií je prováděna pomocí více energetických transformací. V dnešní době se nejvíce používá způsob, při kterém se nejprve uvolní tepelná energie obsažená v palivu a potom se získá technická práce A , kterou je možné využít pro mechanický pohon spotřebičů. Mechanická energie je transformována na elektrickou (3). Klasickým příkladem tohoto způsobu jsou tepelné motory se spalováním vnějším nebo vnitřním (spalovací motory).

Přímý způsob: U tohoto způsobu se energie paliva mění přímo na energii elektrickou. Přímý způsob přeměny energie lze vidět u palivových článků, kde se provádí obrácená elektrolyza vody a chemická energie se mění elektrochemickou reakcí přímo na energii elektrickou.

Části kogenerační jednotky

Kogenerační jednotka může být principiálně složena z těchto částí (Obr. 2.3.):

Zařízení pro úpravu primárního zdroje energie (1)

Toto zařízení upravuje vstupní formy energie na hodnoty, se kterými pracuje primární jednotka. Možné úpravy paliva:

- zušlechtění paliva (zvýšení energie v objemové či hmotnostní jednotce paliva),
- úprava prvkového složení paliva (odstranění nežádoucích příměsí - voda či síra),
- úprava podmínek pro použití (zlepšení podmínek pro využití paliva - teplota, tlak).

Primární jednotka (2)

Je to hlavní část kogenerační jednotky a dochází v ní k přeměně energie obsažené v palivu nebo v pracovní látce tepelného oběhu na energii mechanickou či elektrickou. Vzniká také zbytkové teplo, které lze dále využít. Primární jednotkou může být tepelný motor či palivový článěk.

Zařízení pro výrobu a úpravu elektrické energie (3)

Zařízení bývá složeno z elektrického generátoru, který mění mechanickou energii vyrobenou tepelným motorem na elektrickou a z elektrického měniče, který v případě potřeby upravuje parametry elektrického proudu.

Zařízení pro rekuperaci tepelné energie (4)

Toto zařízení slouží k transformaci odváděného tepla na požadované parametry a formu. Na výstupu z rekuperačních výměníků se nejčastěji používá vodní pára, teplý vzduch, nízkoteplotní voda (100 °C) nebo vysokoteplotní voda (150 – 200 °C).

Dělení kogeneračních technologií podle několika hledisek

Primární jednotka

- s přímou přeměnou (palivové články)
- s vnějším spalováním (parní a plynové turbíny, organický Rankinův cyklus, mikroturbíny, Stirlingův motor)
- s vnitřním spalováním (spalovací motory)

Primární palivo

- z obnovitelných zdrojů (sluneční energie, biomasa, atd.)
- z neobnovitelných zdrojů (fosilní paliva)
- hybridní (pracuje jak s obnovitelnými, tak s neobnovitelnými zdroji)

Maximální dosažitelný výkon

- mikro-kogenerace (kogenerace do výkonu 50 kW_E)
- mini-kogenerace (kogenerace do výkonu 500 kW_E)
- kogenerace malého výkonu do 1 MW_E
- kogenerace středního výkonu do 50 MW_E
- kogenerace velkého výkonu nad 50 MW_E

Účel využití jako zdroj

- základní
- špičkový
- záložní
- rezervní
- specifický

Druh spotřeby

- centralizované zásobování teplem
- průmyslová kogenerace
- kogenerace pro komerční sféru
- kogenerace pro průmyslovou sféru
- kogenerace pro bytovou sféru

Konstrukční provedení

- modulové uspořádání (zvláště u jednotek menšího výkonu)
- stavebnicové uspořádání (u jednotek vyšších výkonů)

2.3. Parametry kogeneračních jednotek

Jsou to veličiny, které popisují konstrukční, fyzikální, ekonomické, provozní a environmentální vlastnosti kogeneračních jednotek a jejich vzájemné závislosti. Dělí se na statické (zůstávají neměnné) a dynamické (provozní charakteristiky). Mezi nejdůležitější patří následující parametry.

Parametry energetické

Elektrický výkon P_E – je okamžitá maximální hodnota, kterou může KJ dodávat.

Tepelný výkon P_T – je okamžitá maximální hodnota dodávky tepla.

Modul teplotérenské výroby elektrické energie e – je poměr elektrického a tepelného výkonu. Nebo také poměr množství elektřiny E (GJ) a tepla Q (GJ) vyrobené v KJ.

$$e = \frac{P_E}{P_T} = \frac{E}{Q} = \frac{\eta_E^{kj}}{\eta_T^{kj}} \quad (1) \quad [1] \quad (2.1)$$

Elektrická účinnost η_E^{kj} – je účinnost přeměny energie paliva na energii elektrickou.

$$\eta_E^{kj} = \frac{E}{Q_{pal}} \quad (1) \quad [1] \quad (2.2)$$

Tepelná účinnost η_T^{kj} – je účinnost přeměny energie paliva na využitelné teplo Q .

$$\eta_T^{kj} = \frac{Q}{Q_{pal}} \quad (1) \quad [1] \quad (2.3)$$

Celková účinnost η_C^{kj} – je účinnost přeměny energie paliva na využitelnou energii.

$$\eta_C^{kj} = \eta_E^{kj} + \eta_T^{kj} = \frac{E + Q}{Q_{pal}} \quad (1) \quad [1] \quad (2.4)$$

V následující tabulce (Tab. 2.1.) jsou uvedeny základní termodynamické veličiny různých druhů kogeneračních zařízení.

<i>Pohonná jednotka</i>	<i>Používané palivo</i>	<i>Rozsah výkonů (MWe)</i>	<i>Modul teploty výroby elektřiny</i>	<i>Elektrická účinnost (%)</i>	<i>Celková účinnost (%)</i>	<i>Forma tepla</i>
<i>Odběrová parní turbína</i>	Libovolné.	5 – 300	0,2 - 0,4*)	10 - 30	78 - 88	NT pára, horká voda.
<i>Protitlaková parní turbína</i>	Libovolné.	0,1 - 100	0,1 - 0,4	7 - 20	75 - 88	NT pára, horká voda.
<i>Spalovací turbína</i>	Zemní plyn, lehký topný olej, bioplyn, produkty zplyňování.	1**) - 250	0,4 - 1,2	25 - 48	75 - 90	Teplá voda, horká voda, pára NT, VT.
<i>Paroplynové zařízení</i>	Zemní plyn, lehký topný olej, bioplyn, produkty zplyňování.	10 - 400	0,8 - 2	35 - 60	85 - 90	Teplá voda, horká voda, pára NT, VT.
<i>Spalovací motor</i>	Zemní plyn, lehký topný olej, bioplyn, produkty zplyňování.	0,01 - 10	0,5 - 1,1	25 - 45	75 - 92	Teplá voda, horká voda, pára NT.
<i>Parní motor</i>	Biopaliva	0,02 - 1	0,1 - 0,3	10 - 25	70 - 80	Teplá voda.
<i>Stirlingův motor</i>	Zemní plyn, biopalivo.	0,001 - 0,03	0,3 - 0,7	20 - 40	70 - 85	Teplá voda.

*) Vztaženo na odběrovou páru

**) U mikroturbin 25 – 250 kW

Tab. 2.1. Charakteristické vlastnosti základních druhů kogeneračních zařízení [2]

Parametry environmentální

Jedovaté látky ve spalinách – jsou chemické látky, které vznikají transformací primárního paliva s obsahem škodlivin a škodlivě působí na živé organismy. Škodlivé látky lze omezit úpravou paliva, volbou vhodných parametrů transformačního procesu nebo je eliminovat na výstupu z KJ. Vyskytují se ve formě plyných látek (CO, CO₂, NO_x, SO₂ a těkavé organické sloučeniny) či emisních částic (tuhé znečišťující částice a kapalně částice). Oproti oddělené výrobě elektřiny a tepla je produkce škodlivin výrazně

nižší díky snížení spotřeby PEZ. Povolené množství vypouštěných škodlivin, způsob jejich měření a poplatky definuje Zákon o ochraně ovzduší č. 86/2002 Sb.

Jedovaté látky v tuhých odpadních látkách – vznikají u KJ, které spalují pevná paliva. Je to nehořlavá část paliva (škvára, popel) a tuhé znečišťující látky (TZL) ze zařízení pro očištění spalin. Emisní limity nejsou stanoveny, ale Zákon o odpadech č. 185/2001 Sb. stanovuje povinnosti s nakládáním a ukládáním odpadních látek.

Hluk a vibrace – mají na lidský organismus nepříznivý vliv. Jejich přípustné hodnoty jsou definovány Nařízením vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací č. 88/2004 Sb.

Tepelná energie – vzniká při transformaci energie paliva na elektřinu. Část tepla, kterou nelze využít pro tepelnou spotřebu se nazývá odpadní teplo, a to se vhodným způsobem odvádí do okolí.

Parametry ekonomické

Tyto parametry jsou dány náklady, které musíme vynaložit a hrají důležitou roli v konkurenceschopnosti. První část tvoří investiční náklady, které určují množství peněz na pořízení a připojení KJ. Druhá část jsou provozní náklady, které je nutné vydávat při provozu zařízení (nákup paliva, servisní náklady apod.). Třetí částí jsou provozní příjmy, které vznikají z prodeje EE a tepla. Celkové měrné náklady jsou spjaté s dobou provozu jednotky, která je závislá na životnosti, pohotovosti a spolehlivosti.

Parametry provozní (charakteristiky)

Při provozu se tyto parametry mění v závislosti na změně podmínek a zatížení KJ.

Změna zatížení KJ – se provádí od minimálních do maximálních hodnot tepelného a elektrického výkonu regulačními prvky. Základní provozní charakteristikou, která má podstatný vliv na hodnotící ukazatele (úspora paliva, náklady a emise) je změna účinnosti v závislosti na odebíraném výkonu.

Změna vnitřních parametrů KJ – je změna teplot, tlaků, otáček, elektrického napětí a velikosti teplosměnných ploch. Může mít vliv na účinnost, kvalitu využitelné energie, atd.

Provozní charakteristiky mohou být také nároky na údržbu, pohotovost a spolehlivost v závislosti na době provozu.

Vhodnost nasazení KJ

Na základě znalosti parametrů KJ a integračních vstupních a výstupních hodnot energetických toků se dělá hodnocení vhodnosti nasazení KJ. Hodnoty lze získat výpočtem či měřením z předpokládaného provozu KJ. Dále se provádí porovnání s jinými možnostmi zajištění dodávek tepla a elektřiny. Výsledky by měly prokázat výhodnost použití kogeneračních technologií. Mezi hlediska, podle kterých se hodnocení dělá, můžeme zařadit úsporu paliva (primárních zdrojů), snížení ztrát při dodávce elektřiny z elektrizační soustavy, snížení ztrát při dodávce tepla, ekonomickou výhodnost kogenerace (měla by zaručit finanční přínos), snížení negativního vlivu na životní prostředí a zvýšení spolehlivosti dodávky energií (decentralizace zdrojů energie).

2.4. Provozní režimy kogeneračních jednotek

Provozní režimy se zakládají na kritériu volby přizpůsobení zatížení kogenerační jednotky požadovanému tepelnému či elektrickému výkonu. Podle toho se provozní režimy dělí na:

Sledování tepelného výkonu – je režim, kdy se tepelný výkon KJ přizpůsobuje požadavkům zatížení nepřesahujícím možnosti jednotky. Řídící veličinou je většinou teplota. Přebytky elektrické energie se dodávají do elektrizační soustavy.

Sledování elektrického výkonu – je režim, kdy je vyráběná elektřina rovna požadované spotřebě elektřiny nepřesahující možnosti KJ. Pokud vzniká přebytek tepla, musí se část tepla odvádět nevyužitá. V případě nedostatku tepla, je nutno použít doplňkový zdroj tepelné energie.

Kombinovaný provoz – nastává, když jednotka pracuje střídavě ve sledování elektrického nebo tepelného výkonu. O preferování některého z režimů může rozhodovat cena paliva nebo elektrické energie, velikost zatížení apod.

Ostrovní provoz – se používá pro krytí požadavků spotřebitele bez spolupráce s elektrizační soustavou. U tohoto režimu se vyžaduje instalace rezervního zdroje elektřiny a tepla, který je používán při opravě nebo údržbě KJ. Tento režim bývá investičně i provozně náročnější.

V bytové sféře je neekonomičtější provoz při sledování tepelné zátěže, který obecně vykazuje největší úspory paliva. V komunální a komerční kogeneraci je volba režimu závislá na celkovém zatížení, době provozuschopnosti jednotky a na požadavcích spotřebitelů elektrické a tepelné energie.

2.5. Paliva

Na výběr paliva pro KJ má vliv použitá kogenerační technologie, provozní, technické, ekologické a ekonomické požadavky kladené na provoz KJ. Dále je nutné řešit druh paliva, jeho dostupnost, cenu, nutnost úpravy, atd. Pro využití paliva v KJ je důležité následující rozdělení:

Typ paliva:

- fosilní paliva (uhlí, ropa a zemní plyn),
- biopaliva,
- alternativní paliva (např. vodík a jaderné palivo).

Druh paliva:

- pevná (uhlí, dřevo a biomasa),
- kapalná (plynový olej, topný olej, methanol, ethanol, nafta a bionafta),
- plynná (zemní plyn, koksárenský plyn, degazační plyn, bioplyn, atd.).

Dostupnost paliva:

- komerční,
- nekomerční.

Parametry paliv

Chemické charakteristiky – vyjadřují schopnost paliva reagovat s kyslíkem. Reaktivita závisí na složení paliva. Palivo se skládá z hořlaviny (veškeré hořlavé látky), popeloviny (nespalitelné složky v palivu) a vody (regulujeme ji vysoušením). Hodnoty hořlaviny mohou pohybovat v rozmezí 0-1.

Energetické charakteristiky – jsou důležité pro bilancování energetických zdrojů a pro energetické porovnání paliv. Hlavním parametrem je množství energie, kterou lze získat z paliva. Hodnotícími parametry je spalné teplo, výhřevnost a energetická hustota.

Fyzikální vlastnosti – jsou závislé na typu paliva. U všech paliv lze měřit jen některé údaje (např. měrnou hmotnost, tepelnou vodivost a teplotu vzplanutí). Dále podle druhu paliva se měří například viskozita a teplota zkapalnění u plyných paliv, oktanové číslo a teplota tuhnutí u kapalných paliv a u pevných paliv zrnitost a teplota tavení tuhých zbytků. Důležité hodnotící parametry paliv z hlediska jejich použití pro KJ jsou:

- měrná hmotnost (hustota je důležitá při určení nároků na skladovací prostory),
- viskozita,
- zápalná teplota, teplota vzplanutí, meze vznětlivosti,
- spalná teplota (teplota, které lze dosáhnout při spalování paliva),
- teplota tuhnutí, tavení a zkapalnění.

Parametry ekonomické – charakterizují náklady na pořízení, dopravu, skladování, manipulaci a úpravu paliva před jeho konečným využitím. Součtem těchto nákladů vznikne cena, která je vždy vztažena na hmotnostní, objemovou či energetickou jednotku.

Parametry environmentální – určují množství škodlivých látek, které vznikají spalováním daného paliva. Tak jako zdroje znečištění musí dodržovat emisní limity, tak také dodavatelé paliv musí dodávat paliva, které splňují jakostní ukazatele dané vyhláškou Ministerstva životního prostředí č. 357/2002 Sb. Za relativně čistá paliva se dají považovat plyná paliva, ale nejvhodnější perspektivou je používání alternativních paliv, u kterých při spalování nevznikají znečišťující látky.

2.6. Srovnání primárních jednotek

V následující tabulce (Tab. 2.2.) je porovnání hlavních výhod a nevýhod primárních jednotek s ohledem na možnosti jejich využití pro KVET.

Typ PJ	Výhody	Nevýhody
Palivové články	Nízké emise a hluk, vysoká účinnost v celém pásmu zatížení jednotky, flexibilita, krátká doba výstavby, možnost využití velkého množství paliv, ale vyžadují úpravu na čistý vodík, flexibilní energetický poměr, výroba nízkopotenciálního a vysokopotenciálního tepla v závislosti na typu palivového článku.	Náklady, doba životnosti, malá hustota energie, dlouhá startovací doba, korozivní účinky při použití tekutých elektrolytů.
Parní turbíny	Vysoká celková účinnost, možnost použití všech druhů paliv, změna modulu teplárenské výroby během provozu, schopnost pokrýt požadavky tepelné spotřeby při různých teplotách, velké výkonové rozpětí, dlouhá doba životnosti.	Nízký teplárenský modul, vysoké náklady, pomalý start.
Plynové turbíny	Vysoká spolehlivost umožňující dlouhodobý nepřerušovaný provoz, dodávka vysokopotenciálního tepla, konstantní vysoká rychlost otáčení blízka požadované frekvenci, řízení elektrického výkonu, vhodný energetický poměr, není nutná chladicí voda, relativně nízké investiční náklady, velký rozsah využití paliv (nafta, zemní plyn, odpadový plyn), schopnost kombinování paliv, nízké emise.	Malý počet vyráběných výkonů ve výkonovém rozmezí, nižší mechanická účinnost oproti spalovacím motorům, spalování plynu je prováděno při vysokém tlaku, vysoká hlučnost, malá účinnost při nízkém zatížení, palivo musí být čisté a suché, výkon klesá s nárůstem teploty v důsledku termodynamických omezení v turbíně, dlouhá doba opravitelnosti, delší doba nájezdu (0,5-2 hodiny)
Stirlingův motor	<i>Technické výhody:</i> velké zkušenosti s provozem v oblasti vysokých výkonů, menší počet třecích pohyblivých částí, nemá vnitřní spalovací komoru, vysoká teoretická účinnost, vhodný pro masové využití. <i>Výhody využití pro mikrokogeneraci:</i> Není potřeba dodatečný zdroj tepla, výroba elektřiny není závislá na výrobě tepla, nízké emise, jednoduché řízení, mohou být stavěny jako modulární jednotky.	Menší zkušenosti s provozem v oblasti nízkých výkonů, nízká mechanická účinnost současných motorů ve výkonovém rozmezí 350 - 800 W, lepší účinnost pro výkony nad 3 kW _E , zatím vysoké investiční náklady

Typ PJ	Výhody	Nevýhody
<i>ORC</i>	Možnost využití nízkopotenciálního tepla, dlouhá doba životnosti, Využití biomasy a obnovitelných zdrojů, malá citlivost na změnu zatížení.	Vysoké investiční náklady, nutnost pokrývání špičkového tepelného zatížení z jiného zdroje, pomalý start.
<i>Mikroturbíny</i>	Vysoká spolehlivost v důsledku malého počtu pohybujících se částí, jednoduchá instalace, nízké náklady na údržbu, malé rozměry a hmotnost, přijatelná výška hluku, možnost spalování plynu z běžného zásobení s možností rozšíření palivové flexibility, konkurenceschopné náklady při větším výkonu, vysoká teplota spalin pro tepelné využití, přijatelná kvalita energií.	Náklady.
<i>Spalovací motory</i>	Vysoká účinnost v širokém výkonovém rozmezí jednotek, relativně nízké investiční náklady na instalovaný elektrický výkon, široký rozsah výkonů od 3 kW _E , velký technický rozsah zatížení 30 - 100 % při vysoké účinnosti, možnost použití v ostrovním provozu, dobré sledování zátěže, rychlý startovací čas na plný výkon (15 s), použití více paliv v provozu, opravy lze provádět na místě, nízké investiční náklady pro malé jednotky, mohou pracovat s nízkým tlakem plynu (menším než 0,1 MPa).	Musí být chlazeny i když se nevyužívá teplo, vysoký modul teploty výroby, v případě nepokrytí požadavků vyžadují velké zálohování, velké hodnoty nízkofrekvenčního hluku, vysoké náklady na údržbu.

Tab. 2.2. Porovnání primárních jednotek využívaných pro KJ [1]

3. Spalovací motory

Pístové motory s vnitřním spalováním jsou široce využívány nejen v dopravě a pro pohon strojních zařízení, ale také se používají jako primární jednotky kogeneračních soustrojí pro výrobu elektřiny a tepla. Zejména kvůli ekologickým a ekonomickým požadavkům bylo v posledních desetiletích v konstruování spalovacích motorů dosaženo značného pokroku. Ke zlepšení navrhování, řízení, sledování a vyhodnocování provozu spalovacích motorů přispělo využívání výpočetní techniky.

Tyto motory mění přímočarý pohyb pístů pomocí klikového mechanismu na rotační pohyb. K oxidaci paliva a tím i k uvolnění tepelné energie dochází v pracovním prostoru motoru. Do spalovací komory ve tvaru válce se nasává vzduch s palivem nebo se do něj palivo vstříkuje. Směs se stlačí pístem a zapálí se. Následující expanzí plynu je píst vrácen do původní pozice. Díky přerušovanému zapalování paliva je přívod tepelné energie do oběhu nárazový. K využití v kogeneraci, se motory musí rekonstruovat pro spalování zemního plynu. Především palivový systém a spalovací prostor.

Spalovací motory rozdělujeme podle

Způsobu zapalování paliva:

- zážehové (směs vzduchu a paliva je zapálená elektrickou jiskrou),
- vznětové (k samovznícení dojde vstřikem paliva do stlačeného vzduchu).

Počtu pohybů:

- dvoutaktní,
- čtyřtaktní.

Rychlosti otáčení:

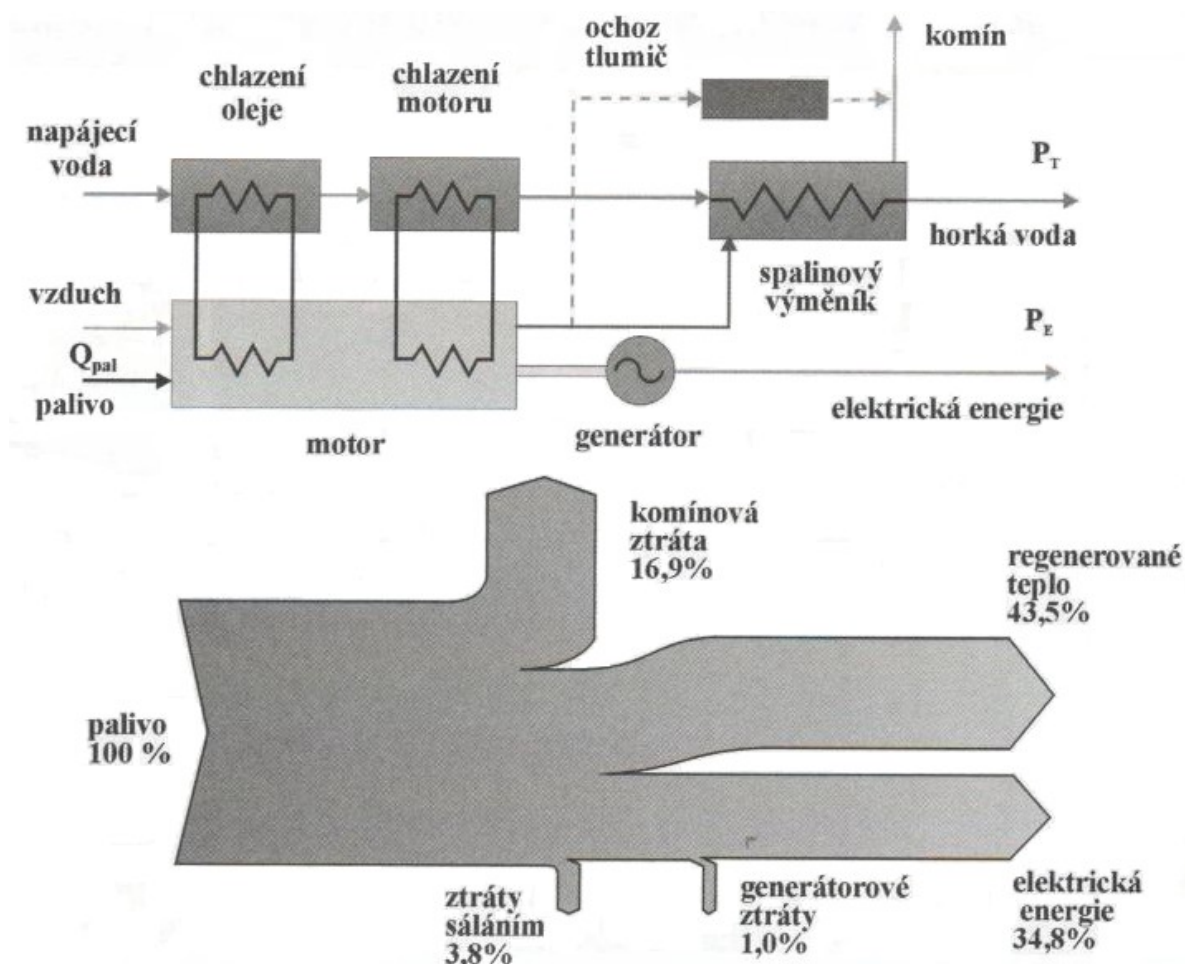
- pomaloběžné (55 - 275 ot/min),
- se středními otáčkami (276 - 1000 ot/min),
- rychloběžné (1001 – 3600 ot/min).

Použité palivo může být kapalné či plynné. Existují i duální motory, kde hlavním palivem je plyn a kapalné palivo slouží ke vznícení směsi. Pro zrovnoměnění průběhu kroutícího momentu přenášeného na hřídel je důležité uspořádání válců a jejich počet.

3.1. Parametry spalovacích motorů

Elektrický a tepelný výkon – se pohybuje v rozmezí od 10 kW do 5 MW. V ojedinělých případech může být výkon i vyšší. Modul teplárenské výroby nabývá hodnot kolem 1.

Tepelné energie – může být dodávána ve formě horké vody, páry o nízkých parametrech a lze ji využít pro technologické procesy, chlazení nebo klimatizaci. Tepelná energie se získává z výfukových spalin, mazacího oleje motoru, chladicí vody motoru a z chlazení kompresoru spalovacího vzduchu. Teplota chladicí vody je 90 – 100 °C a teplota spalin na výstupu z motoru je 450 – 650 °C. Asi 50 % odcházejícího tepla připadá na chlazení motoru. Regenerace tepla se provádí od nejnižších teplot k nejvyšším (Obr. 3.1.) a je možné regenerovat 70 – 80 % z celkového množství odváděného tepla.



Obr. 3.1. Schéma a Sankeyův diagram KJ se spalovacím motorem [1]

Účinnost – je závislá na kompresním poměru ε . U vznětových motorů dosahuje účinnosti na hřídeli 35 - 45 %. U zážehových motorů je účinnost nižší a to 27 – 43 %. Vznětové motory mají účinnost vyšší, protože pracují s větším kompresním poměrem. Celková účinnost je závislá na stupni využití tepla.

Tepelná účinnost pro Ottův cyklus:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\chi-1}} \quad (1) \quad [1] \quad (3.1)$$

Tepelná účinnost pro Dieselův cyklus:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\chi-1}} \cdot \frac{\varphi^{\chi-1}}{\chi \cdot (\varphi - 1)} \quad (1) \quad [1] \quad (3.2)$$

kde je plnění motoru: $\varphi = \frac{v_2}{v_1} = \frac{T_2}{T_1}$ (1) [1] (3.3)

Použité palivo – u zážehových motorů bývá převážně plynné palivo. Vznětové motory jsou na kapalné paliva nebo jsou duální s plynem jako hlavním palivem.

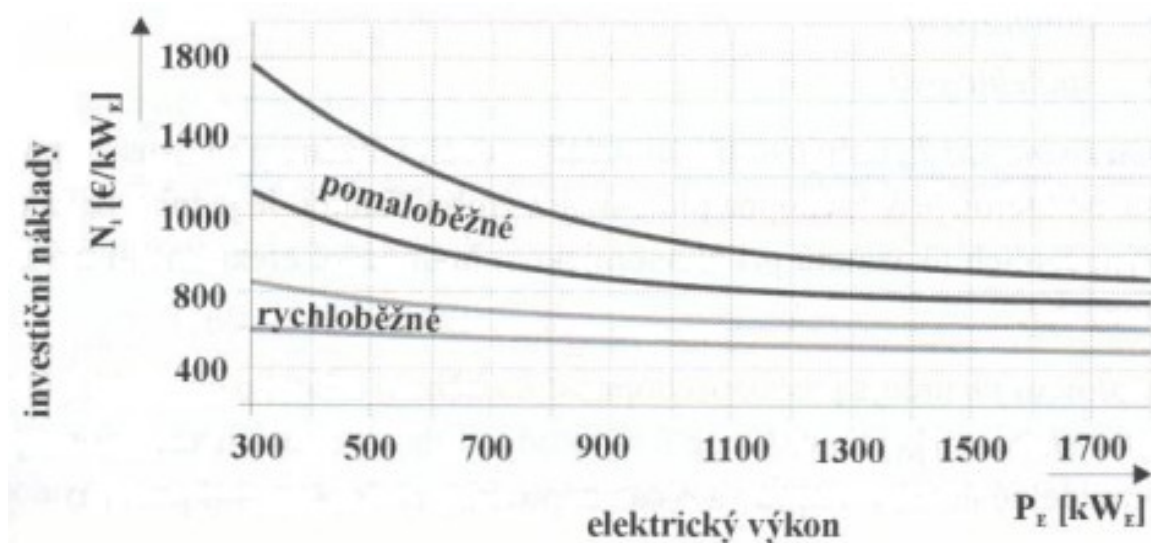
Parametry environmentální – vznikající emisní produkty jsou NO_x, CO, CO₂, TZL a prchavé organické látky. Výskyt NO_x a TZL závisí na typu použitého paliva, u kapalného paliva jsou vyšší. U těchto primárních jednotek je výskyt vysoké hladiny hluku a proto se musí často dodávat v zakrytovaném provedení.

Údržba zařízení – po 500 – 2 000 hodinách se vyměňuje olej, filtry, chladicí kapaliny a seřizují se ventily. Po 8 000 – 30 000 hodinách následuje střední oprava, kdy se mění hlavy válců, turbokompresor apod. V rozmezí 30 000 – 70 000 hodin provozu se provádí generální oprava, která zahrnuje výměnu pístů a kontrolu hřídele a ložisek. Jednou za rok se také čistí výměník tepla výfukových spalin.

Životnost a spolehlivost – je velice dobrá. Opravu motoru je třeba dělat v pravidelných intervalech. Doba mezi jednotlivými opravami je kratší, neboť spalovací motory mají hodně třecích ploch. U motorů rychloběžných je četnost oprav větší.

Pohotovost – je závislá na pravidelných opravách a kvalitě údržby. Při dobré údržbě můžeme dosáhnout provozuschopnosti větší než 95 %.

Investiční náklady – cena spalovacího motoru se odvíjí od velikosti instalovaného výkonu jednotky (Obr. 3.2.).



Obr. 3.2. Měrné ceny KJ pracujících s pomaloběžnými a rychloběžnými motory [1]

3.2. Provozní charakteristiky spalovacích motorů

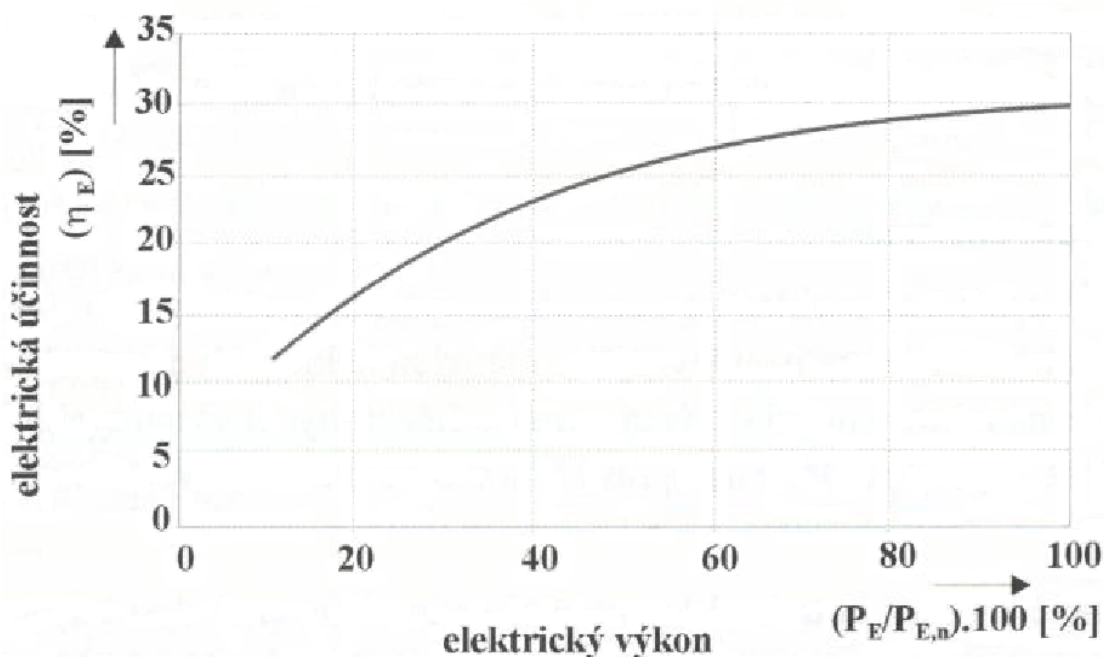
Změna okolních podmínek – při zvýšení nadmořské výšky o 300 m, je pokles výkonu roven 4 %. Při teplotě vyšší než 20 °C je pokles účinnosti vlivem okolní teploty asi 1 % na 5,5 °C.

Změna parametrů – výkon spalovacích motorů je úměrný otáčkám hřídele. Vyšší otáčky znamenají vyšší výkon. Rychloběžné motory jsou v měrných nákladech na instalovaný kW levnější, ale mají vyšší náklady na opravy a údržbu v důsledku většího opotřebení materiálů. Potřebují kvalitnější palivo s dobrými spalovacími parametry a motory malého výkonu mají větší ztráty. Souvislost mezi otáčkami, výkonem a palivem ukazuje tabulka Tab. 3.1.

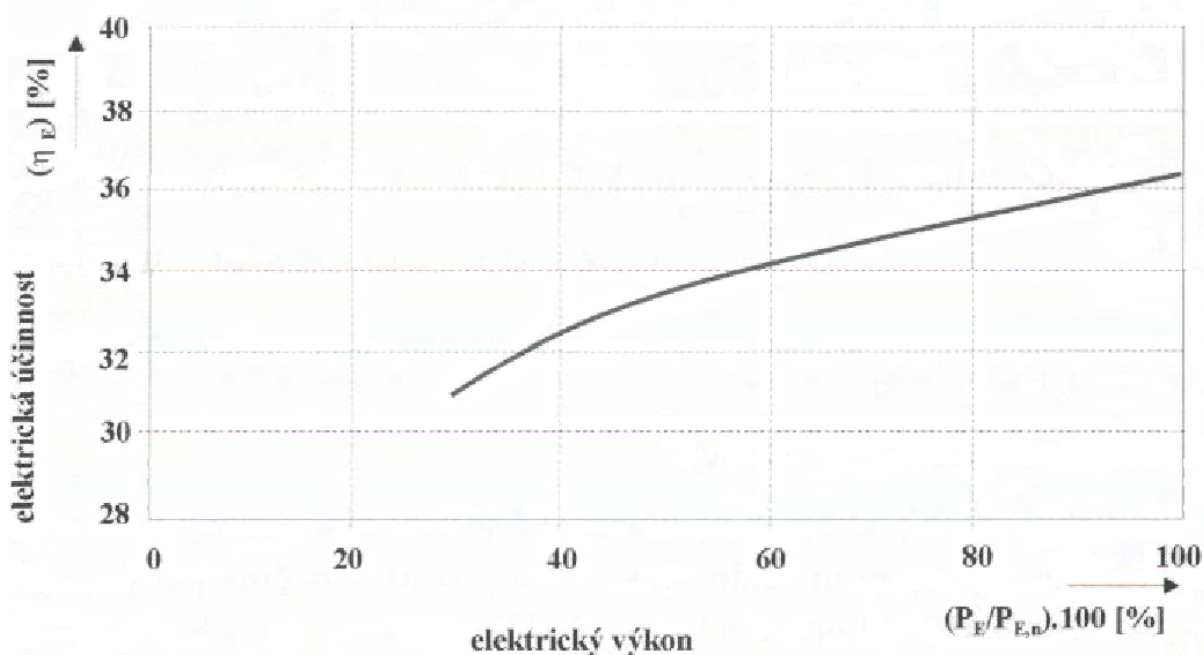
Typ motoru	Zážehové s bohatou směsí	Zážehové s chudou směsí	Duální	Vznětové
Rychloběžné	0,01 – 1,5 MW	0,15 – 3 MW	1 – 3,5 MW	0,01 – 3,5 MW
Střední rychlost	-	1 – 6 MW	1 - 25 MW	0,5 – 35 MW
Pomaluběžné	-	-	2 – 65 MW	2 – 65 MW

Tab. 3.1. Výkonové rozsahy spalovacích motorů v závislosti na otáčkách [1]

Částečné zatížení – je důsledek regulace výkonu změnou množství paliva a tím změnou spalovací teploty. Při provozu s částečným zatížením dochází k poklesu teplotního poměru mezi koncovou a počáteční teplotou, čímž klesne i elektrická účinnost (Obr. 3.3. a 3.4.). Pro krytí proměnlivého zatížení spalovacími motory je lepší použít více jednotek, čímž dosáhneme dostatečně vysoké účinnosti. Spalovací motory jsou vhodné jako záložní a nouzové zdroje, protože jsou schopny najet na plný výkon za velmi krátkou dobu i ze studeného stavu (15 s). Změna zatížení je také velmi rychlá.



Obr. 3.3. Vliv změny zatížení na elektrickou účinnost zážehového motoru [1]



Obr. 3.4. Vliv změny zatížení na elektrickou účinnost vznětového motoru [1]

3.3. Příklady spalovacích motorů jako KJ



Obr. 3.5. Kogenerační jednotka s plynovým pístovým motorem GE Jenbacher [6]



Obr. 3.6. Kontejnerové provedení kogenerační jednotky TEDOM [7]



Obr. 3.7. Dvě kogenerační jednotky s motory Waukesha spalující bioplyn z čistírny odpadních vod Ústí nad Labem [8]



Obr. 3.8. Dvě kogenerační jednotky s motory Waukesha spalující bioplyn z čistírny odpadních vod Brno [8]

3.4. Rostlinný olej ve spalovacích motorech

Rostlinné, jedlé oleje jsou především tvořeny kapalnými triacylglyceroly. Mohou mít jednu či více nenasycených vazeb. S rostoucím množstvím dvojných vazeb v řetězci se zvyšuje tekutost oleje. Oleje v rostlinných tkáních slouží jako zásobárna energie, často jako pohotový energetický zdroj pro klíčící semena. Druh oleje rozlišujeme hlavně podle rostliny, z které byl získán. Rostlinných olejů je mnoho druhů. Nejznámější jsou:

- arašídový olej,
- kokosový olej,
- konopný olej,
- lněný olej,
- olivový olej,
- palmový olej,
- řepkový olej,
- slunečnicový olej,
- sójový olej.

V současné době tvoří v České republice 80 – 85 % všech zpracovávaných olejů olej řepkový. Na základě této informace lze nahlížet na směs použitých rostlinných olejů v KJ jako na olej řepkový. Složení řepkového oleje je následující:

- kyselina olejová: 50 – 66 %,
- kyselina linolová: 24 – 38 %,
- kyselina palmovitá: 1,5 – 6 %,
- kyselina stearová: 0,8 – 2,5 %.

Použití rostlinného oleje v KJ

Rostlinný olej, který je používán pro spalování v kogenerační jednotce, pochází z gastronomického provozu. Aby mohl být olej použit v KJ, musí se náležitě upravit. Nejdříve je nutné olej zahřát na teplotu cca. 60 °C pro snížení jeho viskozity, pak proběhne hrubá filtrace a nakonec finální čištění v odstředivce, která je zkonstruovaná speciálně pro tento účel. Vyčištěný olej se načerpá do skladovací nádrže na rostlinný olej, která je umístěna vedle KJ.

The diagram illustrates a heating system with a central boiler (1) and two parallel pumps (8 and 9). The boiler is connected to a network of pipes (3) and a control unit (2). The system includes a user heating circuit (Uživatelský topný okruh) with a red arrow indicating flow direction. The system is powered by a green area (11) and a yellow area (6). The components are numbered 1 through 12.

- Obr. 3.9.** Schéma kogenerační jednotky na rostlinný olej.

4. Návrh kogenerační jednotky

4.1. Popis stávajícího stavu - energetické vstupy a výstupy

4.1.1. Zásobování elektřinou

Elektrická energie pro budovy kolejí C, D a E je dodávána společností CZECH KARBON, s.r.o. a areál je připojen na distribuční síť provozovanou ČEZ Distribuce, a.s. Trafostanice, která slouží k dodávce elektřiny, je tvořena skříňovými rozvaděči, přičemž VN stranu tvoří skříň vybavení, smyčky a vývodu, následuje skříň transformátoru a NN stranu tvoří skříň přívodu, vývodu a kompenzace. Budova Energocentrum, v níž se trafostanice nachází je postavena v areálu kolejí. Na základě údajů spotřeby elektřiny z období 08/09 – 07/10 v budovách C, D a E lze konstatovat, že nejnižší hodinová spotřeba elektřiny byla 81 kW a to dne 16.8.2009 mezi 7 a 8 hodinou ránní. Naopak nejvyšší naměřená spotřeba byla 670 kW dne 8.12.2009 mezi 18 a 19 hodinou.

Budova	Název transformační stanice	Počet transformátorů
Energocentrum	DTS 93067	2x 1000 kVA

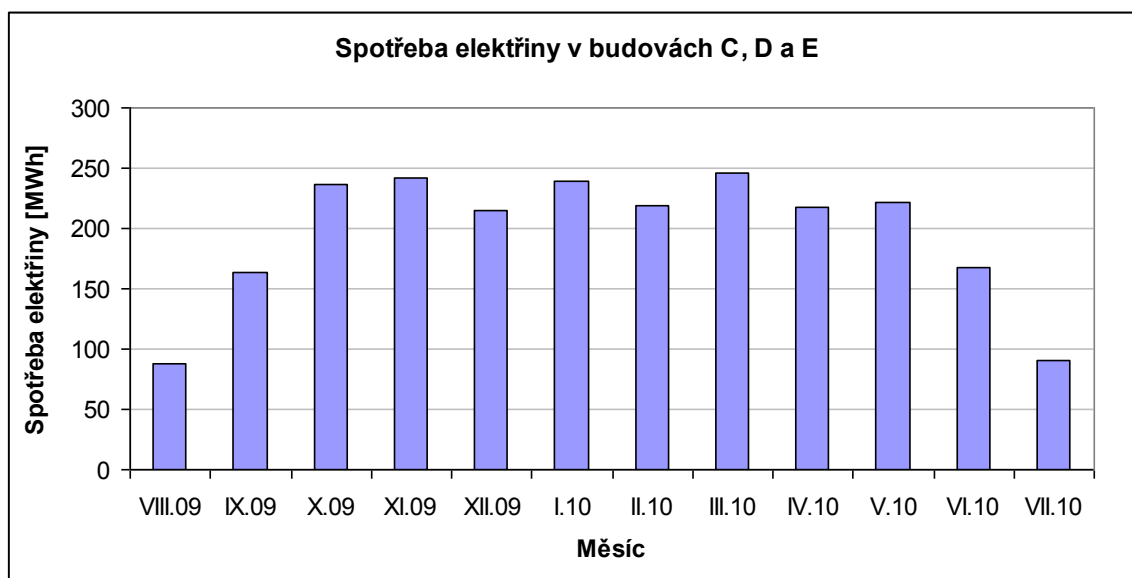
Tab. 4.1. Údaje o transformační stanici [13]

Dodavatel	CZECH KARBON, s.r.o.
Adresa	Smetanovo náměstí 2/979, PSČ 702 00, Ostrava – Moravská Ostrava
Napojovací místo	Koleje – energoblok – Transformační stanice
Cena za rok 2011	Pro prac. dny od 8-20 VT – 1 600Kč/MWh, pro víkendy a svátky a prac. dny od 20-8 NT – 1050Kč/MWh – silová elektřina Průměrná cena včetně regulovaných poplatků = 3 000 Kč/MWh

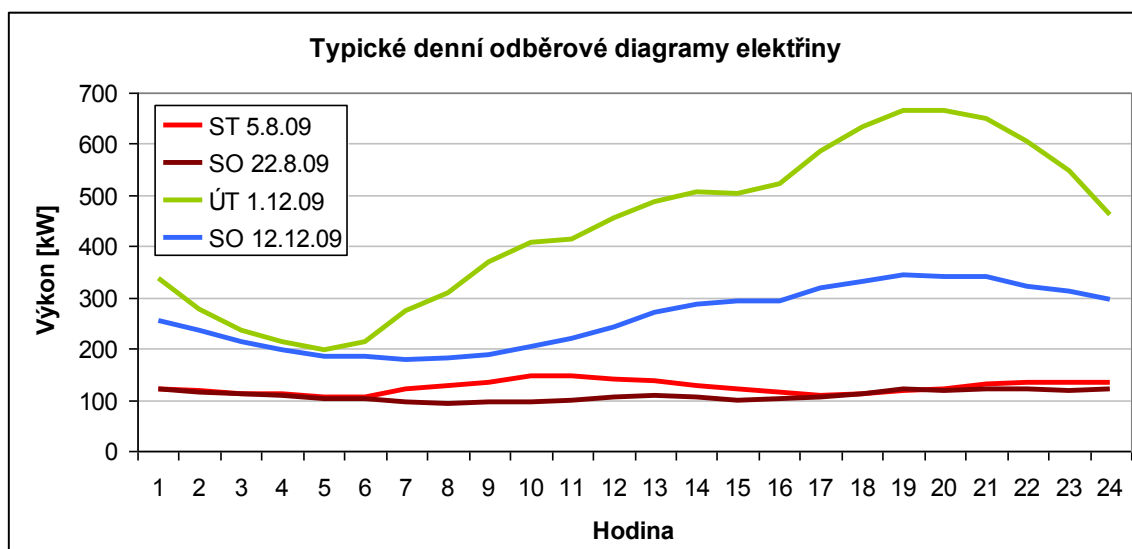
Tab. 4.2. Údaje o dodavateli elektrické energie [13]

Období	MWh
VIII.09	87,50
IX.09	163,72
X.09	235,97
XI.09	241,76
XII.09	214,58
I.10	239,28
II.10	218,82
III.10	246,00
IV.10	217,72
V.10	221,33
VI.10	166,91
VII.10	90,29
Celkem	2343,89

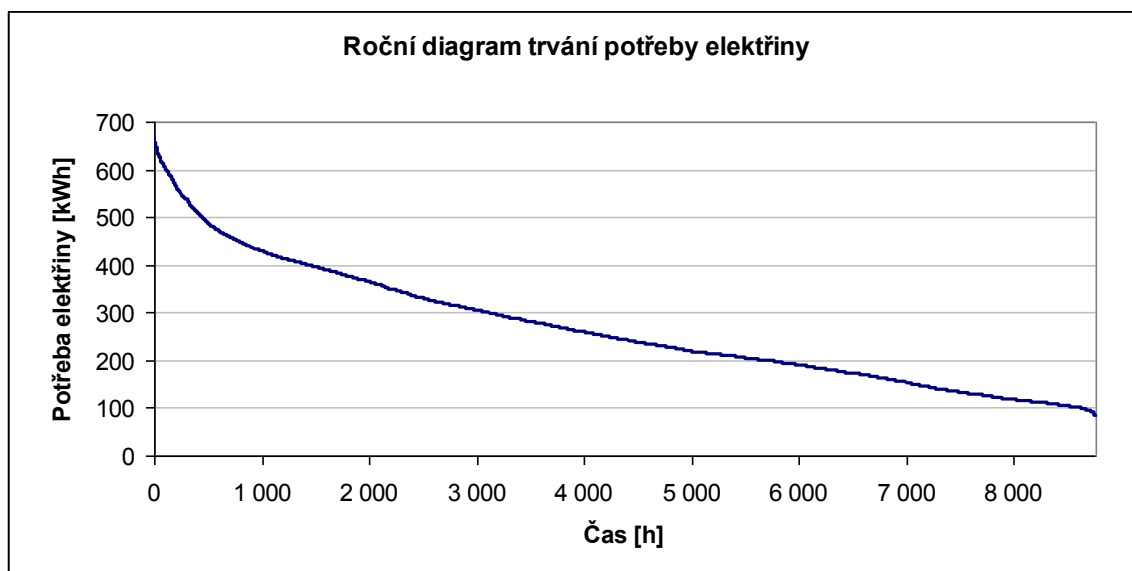
Tab. 4.3. Spotřeba elektřiny v budovách C, D a E [13]



Graf 4.1. Spotřeba elektřiny v budovách C, D a E [13]



Graf 4.2. Typické denní odběrové diagramy elektřiny [13]



Graf 4.3. Roční diagram trvání potřeby elektřiny [13]

4.1.2. Zásobování teplem

Areál kolejí je v současnosti napojen na centrální rozvod tepla provozovaný společností Dalkia, a.s. Pro budovy kolejí C, D a E je měřená předávací stanice umístěna v budově Energocentrum. Tato předávací stanice zajišťuje jak vytápění, tak i přípravu teplé vody (TV). Parametry primární teplotnosné látky jsou kvantitativně i kvalitativně regulovány na základě klimatických podmínek a potřeb odběru tepla na straně dodavatele tepla. V letním období je tepelná síť provozována s teplotním spádem cca. 70 / 50 °C a v zimě cca. 120 / 90 °C. Vyobrazení předávací stanice je k nahlédnutí v příloze Příloha č. 1.

Dodavatel	Dalkia, a.s.
Adresa	28. října 3123/152, PSČ 709 74, Ostrava
Charakter odběru	L
Cena	360 Kč/GJ

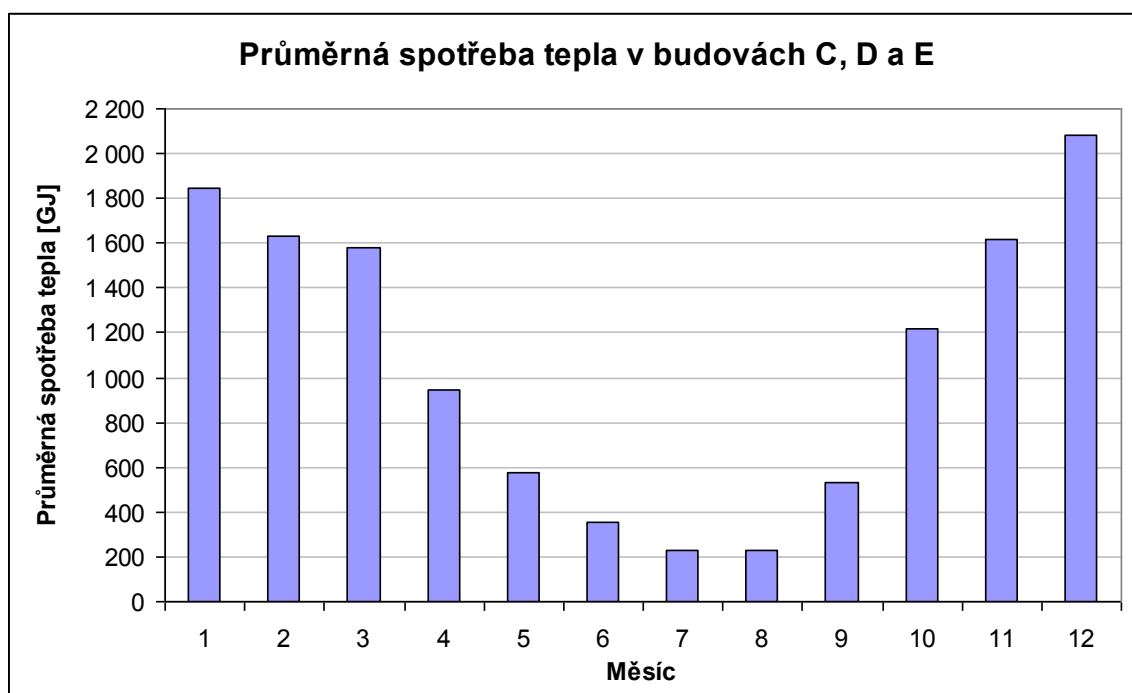
Tab. 4.4. Informace o dodavateli tepla [13]

Výměník	4x 600 kW
Akumulační nádoba	2x 6,3 m ³
Expanzní nádoba	6,3 m ³

Tab. 4.5. Informace o předávací stanici v budově Energocentrum [13]

	2007	2008	2009	Průměr
Leden	1 801	1 895	1 830	1 842
Únor	1 672	1 564	1 657	1 631
Březen	1 479	1 545	1 709	1 578
Duben	884	1 084	864	944
Květen	468	648	617	578
Červen	362	304	391	352
Červenec	227	236	271	231
Srpen	215	228	209	231
Září	505	717	381	534
Říjen	1 177	1 287	1 184	1 216
Listopad	1 780	1 579	1 489	1 616
Prosinec	2 267	2 012	1 964	2 081
Celkem	12 837	13 099	12 566	12 834

Tab. 4.6. Spotřeba tepla v budovách C, D a E v GJ [13]



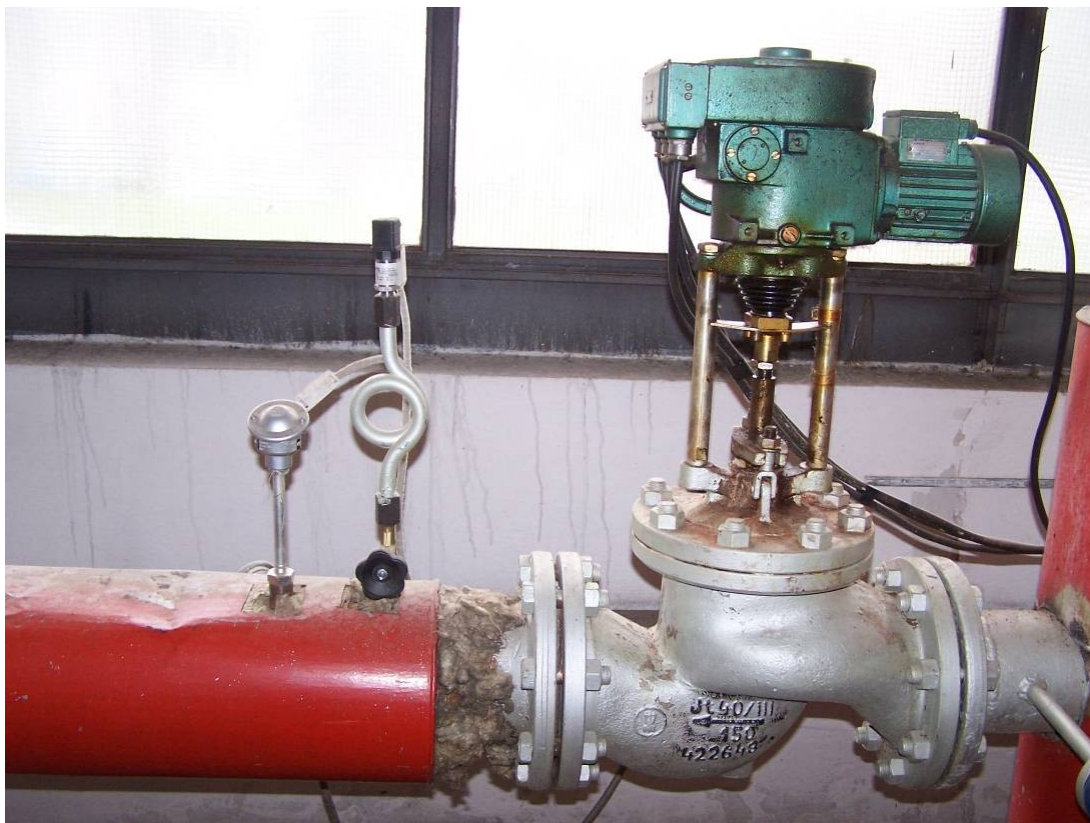
Graf 4.4. Průměrná spotřeba tepla v budovách C, D a E



Obr. 4.1. Předávací stanice v budově Energocentrum



Obr. 4.2. Dvě akumulční nádoby a nádoba expanzní



Obr. 4.3. Fakturační měření na přívodu tepla z Dalkia, a.s.

4.1.3. Zásobování zemním plynem

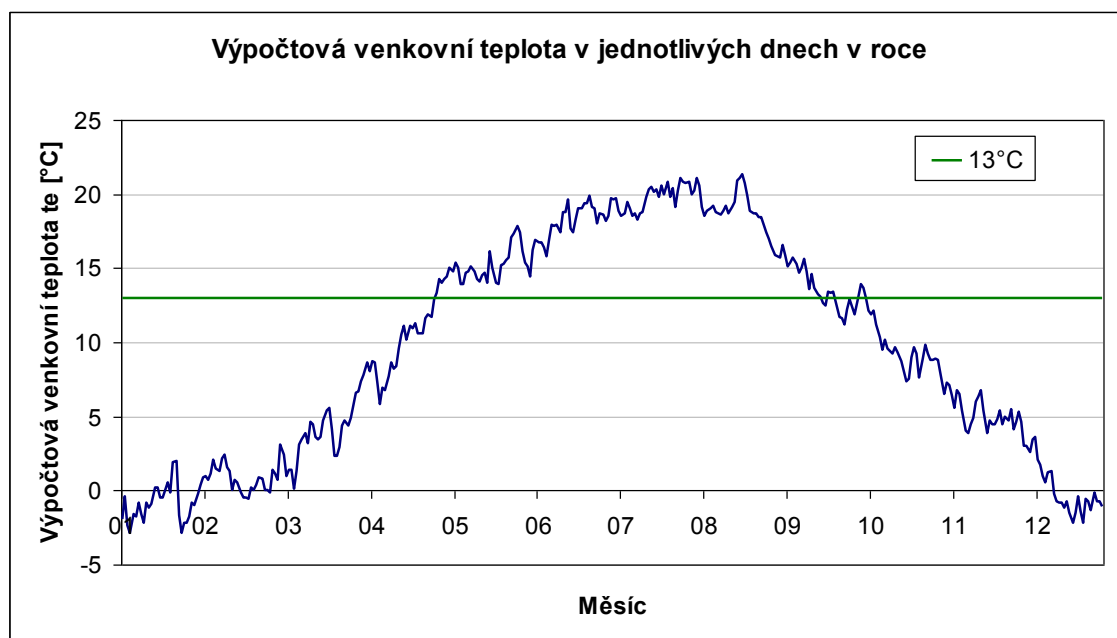
Areál VŠB je ZP zásobován z jediného odběrného místa, středotlakové rozváděcí stanice, které je na západním okraji u budovy těžké laboratoře. V areálu je potom rozveden nízkotlakový ZP, který je převážně používán jako laboratorní plyn s malým podílem využití pro vytápění budovy těžkých laboratoří. Dále je vybudována středotlaková přípojka k objektům CPIT pro dodávku ZP do plynových kotlů.

Dodavatel	Severomoravská plynárenská, a.s.
Adresa	Plynární 2748/6, PSČ 702 72, Ostrava - Moravská Ostrava
Charakter odběru	L
Cena	9 Kč/m ³

Tab. 4.7. Informace o dodavateli zemního plynu [13]

4.2. Vyhodnocení potřeby tepla denostupňovou metodou

Výpočet jmenovité potřeby tepla metodou denostupňů se doporučuje v případě, je-li z měření či fakturací známá spotřeba tepla v soustavě za uplynulý kalendářní rok. Pro výpočet potřeby tepla denostupňovou metodou jsem použil průměr měsíčních hodnot spotřeby tepla na kolejích z let 2007 – 2009, které jsou uvedeny v tabulce Tab. 4.6. Výpočtovou vnitřní teplotu (t_i) jsem určil 21 °C na základě vyhlášky č. 194/2007 Sb. Průměrné denní teploty venkovního vzduchu v Ostravě – Porubě z let 2000 – 2009 jsem získal od Českého hydrometeorologického ústavu v Ostravě – Porubě. Z těchto hodnot jsem vytvořil průměr a tím jsem získal výpočtovou venkovní teplotu (t_e) v jednotlivých dnech v roce (Graf 4.5.).



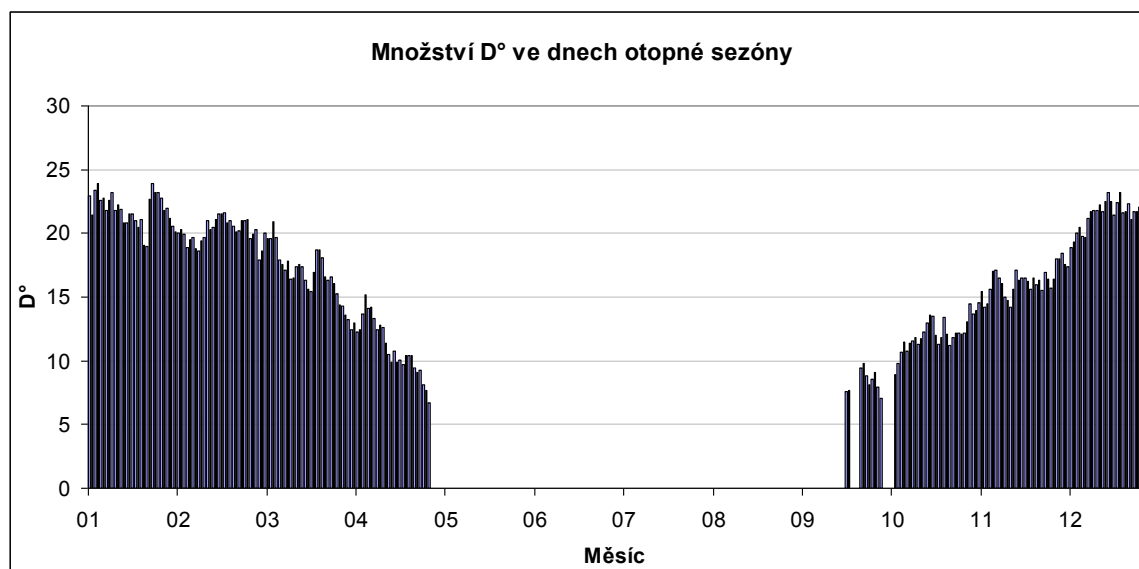
Graf 4.5. Výpočtová venkovní teplota v jednotlivých dnech v roce

Teplo na vytápění se využívá po dobu otopné sezóny (tj. ve dnech, kdy je střední denní teplota venkovního vzduchu alespoň dva po sobě následující dny nižší než 13 °C). Množství denostupňů jsem spočítal právě v těchto dnech podle následujícího vzorce:

$$D_{den}^{\circ} = t_i - t_e \quad (1) \quad [3] \quad (4.1)$$

t_i – vnitřní výpočtová teplota (°C),

t_e – venkovní výpočtová teplota (°C).



Graf 4.6. Množství D° ve dnech otopné sezóny

V jednotlivých měsících jsem sečetl množství D° a získal tak množství denostupňů za měsíc $D^\circ_{\text{mesic.}}$.

Spotřeba tepla není pouze na vytápění, ale také na přípravu TV, která je odebírána po celý rok provozu kolejí. Jelikož hodnota spotřeby TV není měřena, využil jsem fakturační údaje z letních měsíců, mimo otopné období. Aby byla spotřeba TV co možná nejpřesnější, zvolil jsem 3 charakteristické provozy, které při provozu kolejí nastávají. Spotřebu tepla na ohřev TV pro období 9-5 měsíc (11.9. – 31.5.) jsem určil podle měsíce května. V tomto měsíci jsou koleje plně vytížené a podle průměrných hodnot denních středních teplot za posledních 10 let v tomto měsíci již vytápění neprobíhá, proto je všechno teplo spotřebováváno na přípravu TV. Průměrné množství spotřebovaného tepla v měsíci květnu jsem vydělil počtem dní v tomto měsíci a získal jsem tak hodnotu 18,64 GJ, která reprezentuje množství spotřebovaného tepla pro přípravu TV za den. Tato spotřeba je typická pro období plného provozu a pro zjednodušení bude toto období v dalším textu označováno jako Provoz 3 (P3). Období od 1.6. do 30.6. má spotřebu tepla na přípravu TV 11,73 GJ za den a bude dále označováno jako Provoz 2 (P2). Období od 1.7. do 10.9. má spotřebu tepla na přípravu TV 7,45 GJ za den a bude dále označováno jako Provoz 1 (P1).

Provoz	Období	Spotřeba tepla na přípravu TV
Provoz 1	1.7. – 10.9.	7,45 GJ/den
Provoz 2	1.6. – 30.6.	11,73 GJ/den
Provoz 3	11.9. – 31.5.	18,64 GJ/den

Tab. 4.8. Spotřeba tepla na přípravu TV v jednotlivých dnech v roce

Následně jsem v jednotlivých měsících sečetl množství spotřebovaného tepla na přípravu TV a získal tak spotřebu tepla na přípravu TV za měsíc Q_{mesic}^{TV} . Spotřebu tepla na vytápění v jednotlivých měsících jsem spočítal z následujícího vzorce:

$$Q_{mesic}^{VYT} = Q_{mesic} - Q_{mesic}^{TV} \quad (GJ) \quad (4.2)$$

Q_{mesic} – průměrná spotřeba tepla za měsíc (GJ),

Q_{mesic}^{TV} – spotřeba tepla na TV za měsíc (GJ).

Spotřeba tepla pro vytápění na jeden denostupeň je potom:

$$Q_{1gd} = \frac{Q_{mesic}^{VYT}}{D_{mesic}^{\circ}} \quad (GJ/D^{\circ}) \quad [3] \quad (4.3)$$

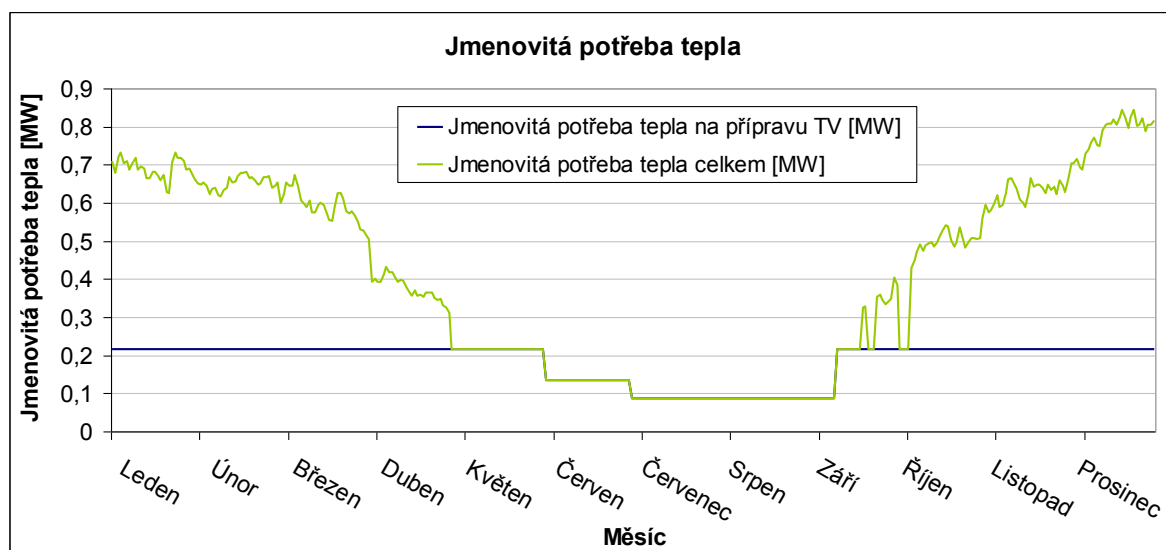
Spotřeba tepla ve dni s venkovní výpočtovou teplotou:

$$Q_{den}^{VYT} = Q_{1gd} \cdot (t_i - t_e) \quad (GJ) \quad [3] \quad (4.4)$$

Jmenovitá potřeba tepla:

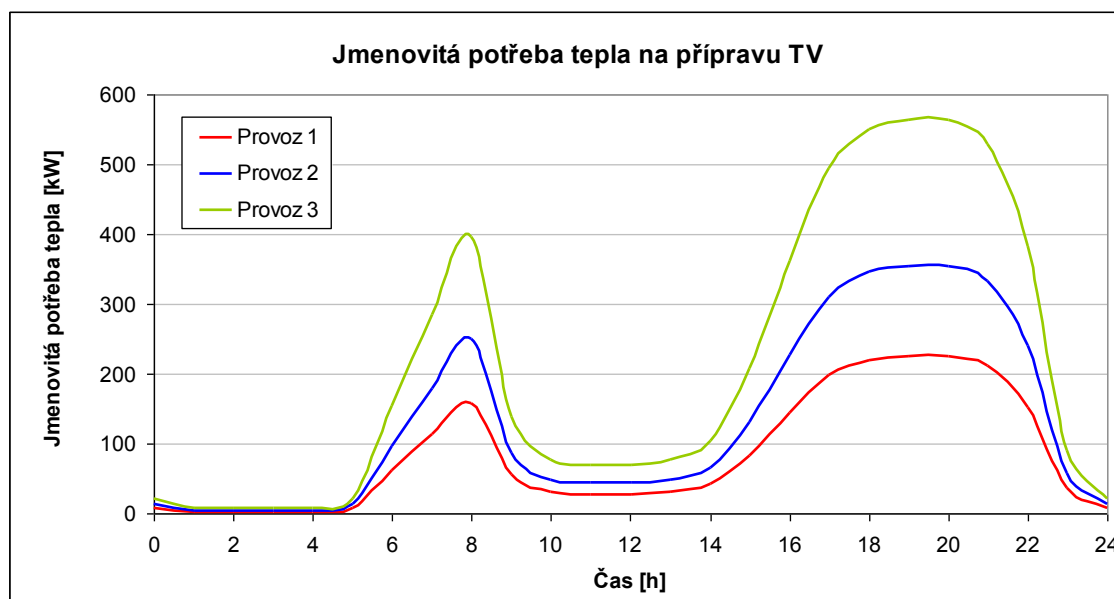
$$Q_c = \frac{Q_{den}^{VYT} + Q_{den}^{TV}}{3,6 \cdot \tau} \quad (MW) \quad [3] \quad (4.5)$$

τ – počet hodin provozu otopného systému za den (h/den), volím 24 h/den.



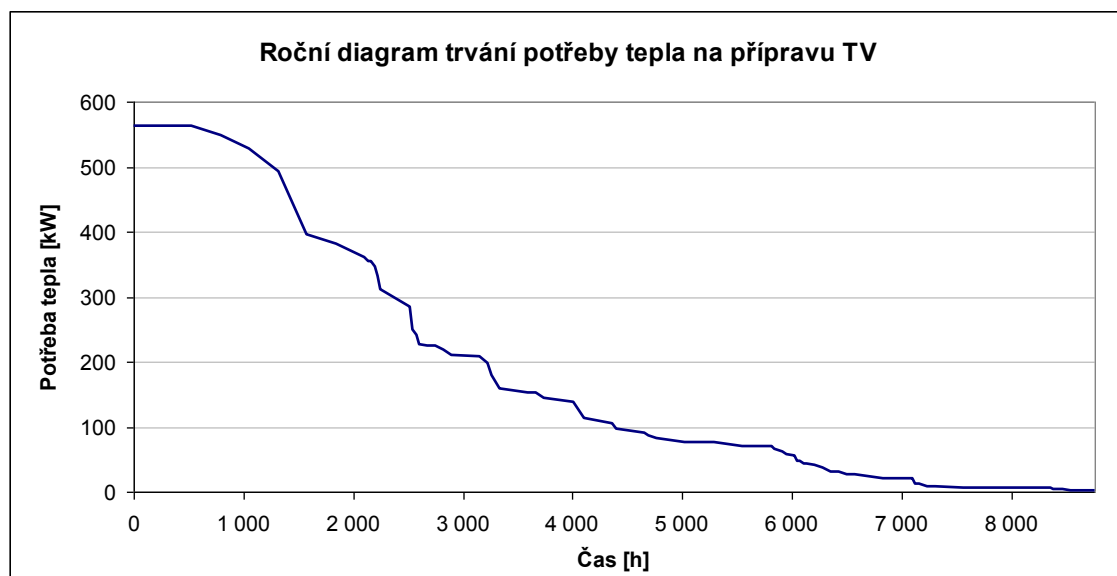
Graf 4.7. Jmenovitá potřeba tepla

V grafu Graf 4.7. lze vidět rovnoměrný průběh jmenovité potřeby tepla pro přípravu TV. Ve skutečnosti není potřeba tepla na přípravu TV během dne rovnoměrná. Potřeba tepla se v průběhu dne mění v závislosti na charakteru provozu. Charakter provozu můžeme přirovnat k obytným domům, kde je spotřeba TV nejvyšší v ranních a večerních hodinách a v průběhu dne a noci je minimální. Průběh jmenovité potřeby tepla na přípravu TV během dne v jednotlivých provozech jsem vykreslil do následujícího grafu (Graf 4.8.).

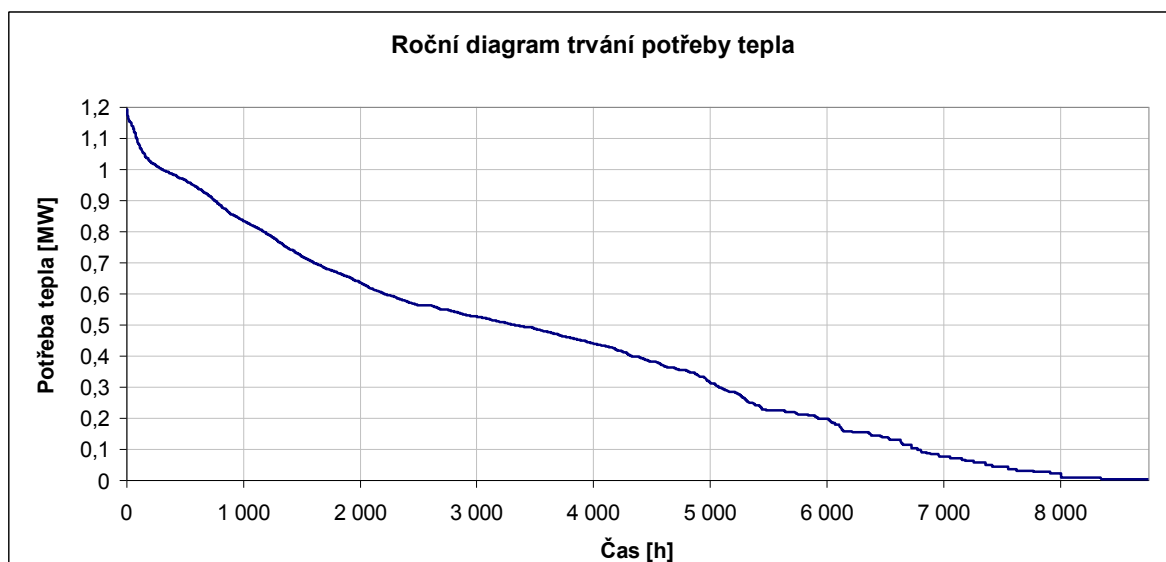


Graf 4.8. Jmenovitá potřeba tepla přípravu na TV

Z těchto údajů jsem následně vytvořil roční diagram trvání potřeby tepla na přípravu TV (Graf 4.9.).



Graf 4.9. Roční diagram trvání potřeby tepla na přípravu TV



Graf 4.10. Roční diagram trvání potřeby tepla

Graf 4.10. jsem vytvořil na základě součtu průběhu spotřeby tepla na vytápění a zvoleného průběhu spotřeby tepla na přípravu TV během roku.

4.3. Návrh kogenerační jednotky

4.3.1. Technické řešení KJ

KJ bude umístěna v předávací stanici budovy Energocentrum v areálu kolejí.

Zdroj tepla a elektřiny

Zdrojem tepelné a současně elektrické energie bude KJ, která je založena na spojení průmyslového plynového motoru (pro pohon na rostlinný olej je to speciálně upravený diesellový motor) a synchronního generátoru, skládající se z modulu spalovacího motoru spojeného s generátorem uloženého na základovém rámu, technologického modulu, plynové trasy, tlumiče výfuku s kouřovodem a elektrického rozvaděče. Dle typu KJ jsou výměníky chlazení motoru, spalín a oleje umístěny v rámu nebo v samostatně stojícím technologickém modulu, který bývá umístěn v těsné blízkosti výrobního bloku. V případě KJ na rostlinný olej nahrazuje plynovou trasu zásobník a předehřev rostlinného oleje a jeho přívod do KJ.

Plně vybavený elektrický rozvaděč KJ obsahuje prvky ovládání, automatiky, fázování a jištění včetně integrovaného řídicího systém KJ a bývá dodáván výrobcem společně se soustrojím.

Výkon KJ jednotky lze regulovat od 50 do 100 % jmenovitého elektrického výkonu. S klesajícím výkonem klesá i celková a elektrická účinnost, zároveň se účinnost tepelná mírně zvyšuje.

Negativní vlivy, mezi které patří hlavně hluk a emise ze spalování, budou splňovat limity dané platnou legislativou. Hluk se sníží instalovanými tlumiči hluku na výstupu spalin a sání, případně větracích otvorech předávací stanice. Emise sledovaných látek ve spalinách garantuje výrobce spalovacího motoru.

Chlazení technologického okruhu

Teplo z technologického okruhu je u KJ značky TEDOM využíváno a započítáváno do maximálního tepelného výkonu. KJ značky SEVA Energie AG toto teplo nevyužívají a proto musí mít instalovaný externí vzduchem chlazený chladič. Pro chlazení technologického okruhu se používá směs etylenglykolu a vody, aby byla zajištěna ochrana před zamrznutím.

Odvod spalin

Spaliny z KJ se budou odvádět přes tlumič hluku pomocí třísložkového spalinovodu v korozivzdorném provedení s vnitřní tepelnou izolací mimo budovu. Ze spalinovodu je potřeba zajistit odvedení případného kondenzátu. Vzhledem k tomu, že kondenzát vzniká pouze krátkou dobu po najetí KJ, nebude pravděpodobně nutné instalovat neutralizační stanici a po projednání s příslušným správcem kanalizace v místě instalace KJ lze kondenzát svést přímo do kanalizace.

Plynovodní přípojka

Ke kogenerační jednotce se musí vybudovat přívod plynu. Přívod bude veden ze středotlakové rozváděcí stanice, která je umístěna u budovy těžké laboratoře. Za stávajícím měřením bude vyvedena odbočka s vlastními uzávěry a filtrací plynu a jako středotlaký plynovod povede do prostoru předávací stanice, kde bude ukončena hlavním uzávěrem plynové přípojky. Uvnitř předávací stanice bude ke KJ vytvořena plynová

trasa s redukcí 70 / 10 kPa, rychlouzávěrem, podružným měřením a veškerým zákonným příslušenstvím. Přípojka bude provedena jako podzemní v plastovém potrubí.

Teplovodní okruh

KJ bude napojena na stávající systém vytápění a přípravy TV v místě stávajícího předávání tepla ze systému centrálního zásobování teplem a to tak, aby uspořádání předávací stanice umožňovalo v případě nedostatečného výkonu KJ odběr tepla ze sítě centrálního zásobování teplem. Tepelný výkon bude vyveden do rozdělovače primárního okruhu a vratná voda do KJ jednotky bude napojena ze sběrače primárního okruhu předávací stanice. Vyobrazení napojení KJ na stávající systém je k nahlédnutí v příloze Příloha č. 2.

Elektrická energie

Elektrický výkon KJ bude vyveden na NN stranu transformátoru, který je umístěn v transformační stanici v budově Energocentrum.

4.3.2. Návrh výkonu

V této části bylo mým úkolem navrhnout varianty KJ na zemní plyn a rostlinný olej, tak aby bylo možné jejich porovnání. Pro variantu s nižším výkonem jsem navrhnul ke srovnání kogenerační jednotky TEDOM Cento T200 a SEVA Energie AG SEV-DE 260P. Pro srovnání KJ s vyšším výkonem jsem navrhnul TEDOM Quanto D400 a SEVA Energie AG SEV-MT 480P. Pro co nejpřesnější srovnání KJ, jsou jednotky zvoleny tak, aby si jejich tepelné výkony byly co nejbližší jak v případě jednotek s menším výkonem, tak i u jednotek s vyšším výkonem. Elektrická energie bude u všech navržených variant dodávána přednostně do areálu kolejí a přebytky budou dodávány do distribuční sítě.

Varianta I. – SEV-MT 480P

Tato KJ bude provozována na rostlinný olej. Její provoz bude 24 hodin denně po celý rok, s výjimkou odstávky pro pravidelnou údržbu. Teplo, které se vyrobí a okamžitě nespotřebuje, bude akumulováno v akumulační nádobě a využito v době, kdy potřeba tepla bude větší, než výkon KJ. Pokud bude potřeba tepla nižší než výkon KJ a akumulace plně nabitá, bude se teplo mařit v chladiči. V následující tabulce (Tab. 4.9.)

jsou uvedeny základní údaje o této KJ. Kompletní technické údaje jsou k nahlédnutí v příloze Příloha č. 3.

Veličina	Hodnota	Jednotka
Typ jednotky	SEVA Energie AG SEV-MT 480P	
Jmenovitý elektrický výkon	480	kW
Jmenovitý tepelný výkon	455 ± 8 %	kW
Tepelný spád topného systému	90/70	°C
Jmenovité otáčky stroje	1500	min ⁻¹
Spotřeba rostlinného oleje	125,6 + 5 %	l/h
Celková účinnost	80,9	%

Tab. 4.9. Základní údaje o KJ SEV-MT 480P [12]

Varianta II. – SEV-DE 260P

Tato KJ bude provozována na rostlinný olej. Její provoz bude také 24 hodin denně po celý rok, s výjimkou odstávky pro pravidelnou údržbu. Teplo, které se vyrobí a okamžitě nespotřebuje, bude akumulováno v akumulární nádobě a využito v době, kdy potřeba tepla bude větší, než výkon KJ. Pokud bude potřeba tepla nižší než výkon KJ a akumulace plně nabitá, bude se teplo mařit v chladiči. V následující tabulce (Tab. 4.10.) jsou uvedeny základní údaje o této KJ. Kompletní technické údaje jsou k nahlédnutí v příloze Příloha č. 4.

Veličina	Hodnota	Jednotka
Typ jednotky	SEVA Energie AG SEV-DE 260P	
Jmenovitý elektrický výkon	260	kW
Jmenovitý tepelný výkon	264 ± 8 %	kW
Tepelný spád topného systému	90/70	°C
Jmenovité otáčky stroje	1500	min ⁻¹
Spotřeba rostlinného oleje	69,5 + 5 %	l/h
Celková účinnost	80,9	%

Tab. 4.10. Základní údaje o KJ SEV-DE 260P [12]

Varianta III. – Quanto D400

Tato kogenerační jednotka bude provozována na zemní plyn. Při jejím provozu má provozovatel nárok na příspěvek k ceně elektřiny (Tab. 1.3.). Musí však vyrobené teplo z KJ využít v daném množství dle požadavku vyhlášky. Proto bude KJ pracovat v režimu sledování tepla. Veškeré vyrobené teplo se spotřebuje. Tento požadavek lze splnit pouze při použití akumulární nádoby. Teplo, které se vyrobí a okamžitě nespotřebuje, bude akumulováno v akumulární nádobě a využito v době, kdy potřeba tepla bude větší, než výkon KJ a v době kdy nebude KJ v provozu. P1 – KJ bude v

provozu 7 hodin denně na cca. 57 % výkonu. P2 – KJ bude v provozu 8 hodin denně na cca. 78 % výkonu. P3 – KJ bude v provozu na maximální výkon 10 hodin denně ve dnech kdy se nevytápí a ve dnech otopných bude v provozu 12 hodin denně. V následující tabulce (Tab. 4.11.) jsou uvedeny základní údaje o této KJ. Kompletní technické údaje jsou k nahlédnutí v příloze Příloha č. 5.

Veličina	Hodnota	Jednotka
Typ jednotky	TEDOM Quanto D400	
Jmenovitý elektrický výkon	400	kW
Jmenovitý tepelný výkon	452	kW
Tepelný spád topného systému	90/70	°C
Jmenovité otáčky stroje	1500	min ⁻¹
Spotřeba zemního plynu (výhřevnost 34 MJ/m ³ _N)	100	m ³ /h
Celková účinnost	90,1	%

Tab. 4.11. Základní údaje o KJ Quanto D400 [16]

Varianta IV. – Cento T200

Tato kogenerační jednotka bude také provozována na zemní plyn. Při jejím provozu má provozovatel nárok na příspěvek k ceně elektřiny (Tab. 1.3.). Musí však vyrobené teplo z KJ využít v daném množství dle požadavku vyhlášky. Proto bude KJ pracovat v režimu sledování tepla. Veškeré vyrobené teplo se spotřebuje. Tento požadavek lze splnit pouze při použití akumulární nádoby. Teplo, které se vyrobí a okamžitě nespotřebuje, bude akumulováno v akumulární nádobě a využito v době, kdy potřeba tepla bude větší, než výkon KJ a v době kdy nebude KJ v provozu. P1 – KJ bude v provozu 8 hodin denně na cca. 92 % výkonu. P2 – KJ bude v provozu na maximální výkon 11 hodin denně. P3 – KJ bude v provozu na maximální výkon 12 hodin denně. V následující tabulce (Tab. 4.12.) jsou uvedeny základní údaje o této KJ. Kompletní technické údaje jsou k nahlédnutí v příloze Příloha č. 6.

Veličina	Hodnota	Jednotka
Typ jednotky	TEDOM Cento T200	
Jmenovitý elektrický výkon	200	kW
Jmenovitý tepelný výkon	276	kW
Tepelný spád topného systému	90/70	°C
Jmenovité otáčky stroje	1500	min ⁻¹
Spotřeba zemního plynu (výhřevnost 34 MJ/m ³ _N)	56,6	m ³ /h
Celková účinnost	89,1	%

Tab. 4.12. Základní údaje o KJ Cento T200 [16]

4.4. Analýza možnosti instalace akumulční nádoby

Stávající systém předávací stanice disponuje dvěma akumulčními nádobami. Každá z nich má objem 6,3 m³. Stávající akumulace má tedy celkový objem 12,6 m³. Při provozu KJ bude stávající akumulace plně k dispozici, proto jsem si spočítal její kapacitu při nabíjení kogenerační jednotkou.

Kapacita stávající akumulace:

$$V_z = \frac{Q_{zj} \cdot \tau_n}{c \cdot (t_n - t_z)} \quad (\text{m}^3) \quad [17] \quad (4.6)$$

$$Q_{zj} = \frac{V_z \cdot c \cdot (t_n - t_z)}{\tau_n} = \frac{12,6 \cdot 1,163 \cdot (90 - 70)}{1} = 293,076 \text{ kWh}$$

$$\frac{293,076 \cdot 3,6}{1000} = \underline{\underline{1,06 \text{ GJ}}}$$

V_z – objem akumulční nádoby (m³),

Q_{zj} – tepelný výkon pro nabíjení zásobníku (kW),

τ_n – doba nabíjení zásobníku (h), volím 1,

c – měrná tepelná kapacita vody = 1,163 (kWh/m³),

t_n – výpočtová teplota nabíjecí vody (°C),

t_z – výpočtová teplota zpětné vody (°C).

Kapacita stávající akumulace je tedy 1,06 GJ.

Varianta I. – SEV-MT 480P

Tato KJ má tepelný výkon 455 kW. V provozu P1 a P2 bude vždy okamžitá potřeba tepla menší, než je tepelný výkon KJ, proto nebude akumulace zapotřebí. V provozu P3, ve dnech kdy se nevytápí, však špičková potřeba tepla bude o něco vyšší než tepelný výkon KJ. Pro pokrytí této špičky je potřeba akumulace, jejíž velikost je určena pomocí tabulky Tab. 4.13. Červeně vyznačená oblast je doba špičky, kdy je tepelný výkon KJ menší, než potřeba tepla. V těchto hodinách jsem sečetl množství chybějícího tepla a vyšlo číslo 1,72 GJ, které je v tabulce tučně vyznačeno. Pro pokrytí špičky je tedy potřeba akumulace 1,72 GJ.

Čas [hodiny]	Spotřeba tepla na přípravu TV [GJ]	Jmenovitá potřeba tepla na TV [kW]	Výkon KJ [GJ/hod]	Chybějící teplo [GJ]
14	0,38	104,25	1,60	
15	0,75	208,50	1,60	
16	1,30	361,40	1,60	
17	1,78	493,45	1,60	-0,18
18	1,98	549,05	1,60	-0,56
19	2,03	562,95	1,60	-0,99
20	2,03	562,95	1,60	-1,42
21	1,90	528,20	1,60	-1,72
22	1,38	382,25	1,60	
23	0,33	90,35	1,60	

Tab. 4.13. Potřebná akumulace v P3 pro variantu I

Nová akumulace, vytvořená nad rámec stávající akumulace, by tedy měla kapacitu 0,66 GJ. Využívána by byla přibližně 135 dní v roce, ale ne vždy na 100 %. Jelikož je množství získaného tepla pomocí této akumulace zanedbatelné a nevzniká zde nutnost její výstavby kvůli získání příspěvku k ceně elektřiny, jako u KJ na ZP, navrhuji nechat pouze stávající akumulaci a novou nestavět.

Varianta II. – SEV-DE 260P

Tato KJ má tepelný výkon 264 kW. V provozu P1 bude vždy okamžitá potřeba tepla menší, než je tepelný výkon KJ. V provozu P2 však špičková potřeba tepla bude o něco vyšší než tepelný výkon KJ. Pro pokrytí této špičky je potřeba akumulace, jejíž velikost je určena pomocí tabulky Tab. 4.14. Červeně vyznačená oblast je doba špičky, kdy je tepelný výkon KJ menší, než potřeba tepla. V těchto hodinách jsem sečetl množství chybějícího tepla a vyšlo číslo 1,48 GJ, které je v tabulce tučně vyznačeno. Pro pokrytí špičky je tedy potřeba akumulace 1,48 GJ.

Čas [hodiny]	Spotřeba tepla na přípravu TV [GJ]	Jmenovitá potřeba tepla na TV [kW]	Výkon KJ [GJ/hod]	Chybějící teplo [GJ]
14	0,24	65,60	0,93	
15	0,47	131,21	0,93	
16	0,82	227,43	0,93	
17	1,12	310,53	0,93	-0,19
18	1,24	345,51	0,93	-0,51
19	1,28	354,26	0,93	-0,86
20	1,28	354,26	0,93	-1,21
21	1,20	332,39	0,93	-1,48
22	0,87	240,55	0,93	
23	0,20	56,86	0,93	

Tab. 4.14. Potřebná akumulace v P2 pro variantu II

Nová akumulace, vytvořená nad rámec stávající akumulace, by tedy měla kapacitu 0,42 GJ. Využívána by byla přibližně 110 dní v roce, ale ne vždy na 100 %. Jelikož je množství získaného tepla pomocí této akumulace zanedbatelné vzhledem k celkové spotřebě tepla a nevzniká zde nutnost její výstavby kvůli získání příspěvku k ceně elektřiny, jako u KJ na ZP, navrhuji nechat pouze stávající akumulaci a novou nestavět.

V provozu P3 jsou dvě oblasti, kde je tepelný výkon KJ nižší, než potřeba tepla. Obě jsou červeně vyznačeny v tabulce Tab. 4.15. V první vyšlo číslo 0,6 GJ, které je v tabulce tučně vyznačeno. K pokrytí této špičky postačí stávající akumulace. Ve druhé oblasti vyšlo číslo 5,9 GJ. Pro pokrytí této špičky je tedy potřeba akumulace 5,9 GJ.

Čas [hodiny]	Spotřeba tepla na přípravu TV [GJ]	Jmenovitá potřeba tepla na TV [kW]	Výkon KJ [GJ/hod]	Chybějící teplo [GJ]
0	0,08	20,85	0,93	
1	0,03	6,95	0,93	
2	0,03	6,95	0,93	
3	0,03	6,95	0,93	
4	0,03	6,95	0,93	
5	0,08	20,85	0,93	
6	0,55	152,90	0,93	
7	1,03	284,95	0,93	-0,10
8	1,43	396,15	0,93	-0,60
9	0,50	139,00	0,93	
10	0,28	76,45	0,93	
11	0,25	69,50	0,93	
12	0,25	69,50	0,93	
13	0,28	76,45	0,93	
14	0,38	104,25	0,93	
15	0,75	208,50	0,93	
16	1,30	361,40	0,93	-0,37
17	1,78	493,45	0,93	-1,22
18	1,98	549,05	0,93	-2,27
19	2,03	562,95	0,93	-3,37
20	2,03	562,95	0,93	-4,47
21	1,90	528,20	0,93	-5,45
22	1,38	382,25	0,93	-5,90
23	0,33	90,35	0,93	

Tab. 4.15. Potřebná akumulace v P3 pro variantu II

Nová akumulace, vytvořená nad rámec stávající akumulace, by tedy měla kapacitu 4,84 GJ. Využívána by byla v provozu P3 přibližně 80 dní v roce, ale ne vždy na 100 %. Dále můžeme připočítat využití této akumulace po 30 dní v roce v P2. Její využití v P2 však bude pouze 6,5 %. Navrhuji ponechat pouze stávající akumulaci a novou nestavět, protože v tomto případě se jedná o značně velkou akumulární nádobu s malým potenciálem využitelnosti.

Varianta III. – Quanto D400

Tato KJ má tepelný výkon 452 kW. Aby provozovatel dostal příspěvek k ceně elektřiny, je nutno vyrobené teplo KJ využít v daném množství dle požadavku vyhlášky. Proto je v tomto případě akumulace prakticky nepostradatelná. Velikost akumulace jsem navrhnul podle provozu P1 pomocí tabulky Tab. 4.16. Pro P2 a P3 by mohla být navržena akumulace s větší kapacitou, ale pro akumulaci je důležitá co nejdelší doba využití v roce, proto volím její kapacitu podle P1. V P1 bude KJ pracovat 7 hodin denně na 65,4 % tepelného výkonu (cca. 57 % elektrického výkonu). Za těchto 7 hodin, které jsou v tabulce červeně vyznačeny, KJ vyrobí i teplo, které se bude spotřebovávat následujících 17 hodin. Tučně vyznačené číslo 2,5 GJ udává množství tepla, které je vyrobeno na těchto 17 hodin a které je třeba uchovat v akumulární nádobě.

Čas [hodiny]	Spotřeba tepla na přípravu TV [GJ]	Jmenovitá potřeba tepla na TV [kW]	Výkon KJ [GJ/hod]	Stav v akumulační nádři [GJ]
0	0,03	8,33	0	2,34
1	0,01	2,78	0	2,33
2	0,01	2,78	0	2,32
3	0,01	2,78	0	2,31
4	0,01	2,78	0	2,30
5	0,03	8,33	0	2,27
6	0,22	61,11	0	2,05
7	0,41	113,89	0	1,64
8	0,57	158,33	0	1,07
9	0,20	55,56	0	0,87
10	0,11	30,56	0	0,76
11	0,10	27,78	0	0,66
12	0,10	27,78	0	0,56
13	0,11	30,56	0	0,45
14	0,15	41,67	0	0,30
15	0,30	83,33	0	0,00
16	0,52	144,44	1,06	0,54
17	0,71	197,22	1,06	0,90
18	0,79	219,44	1,06	1,17
19	0,81	225,00	1,06	1,43
20	0,81	225,00	1,06	1,68
21	0,76	211,11	1,06	1,99
22	0,55	152,78	1,06	2,50
23	0,13	36,11	0	2,37

Tab. 4.16. Potřebná akumulace v P1 pro variantu III

Navrhuji tedy ke stávající akumulaci vytvořit novou, která bude mít kapacitu 1,44 GJ. Nová akumulace bude využita ve všech provezech, téměř vždy na 100 %. Celkem se jedná přibližně o 200 dnů v roce. V P1 a P2 bude akumulace využívána na 100 %.

Výpočet velikosti nové akumulční nádoby:

$$1,44 \text{ GJ} = 400 \text{ kWh},$$

$$V_z = \frac{Q_{zj} \cdot \tau_n}{c \cdot (t_n - t_z)} \quad (\text{m}^3) \quad [17] \quad (4.7)$$

$$V_z = \frac{400 \cdot 1}{1,163 \cdot (90 - 70)} = 17,2 \text{ m}^3$$

Velikost akumulční nádoby bude 17,2 m³.

Varianta IV. – Cento T200

Tato KJ má tepelný výkon 276 kW. Aby provozovatel dostal příspěvek k ceně elektřiny, je nutno vyrobené teplo KJ využít v daném množství dle požadavku vyhlášky. Proto je v tomto případě akumulace prakticky nepostradatelná. Velikost akumulace jsem navrhnul podle provozu P1 pomocí tabulky Tab. 4.17.

Čas [hodiny]	Spotřeba tepla na přípravu TV [GJ]	Jmenovitá potřeba tepla na TV [kW]	Výkon KJ [GJ/hod]	Stav v akumulační nádři [GJ]
0	0,03	8,33	0	2,04
1	0,01	2,78	0	2,03
2	0,01	2,78	0	2,02
3	0,01	2,78	0	2,01
4	0,01	2,78	0	2,00
5	0,03	8,33	0	1,97
6	0,22	61,11	0	1,75
7	0,41	113,89	0	1,34
8	0,57	158,33	0	0,77
9	0,20	55,56	0	0,57
10	0,11	30,56	0	0,46
11	0,10	27,78	0	0,36
12	0,10	27,78	0	0,26
13	0,11	30,56	0	0,15
14	0,15	41,67	0	0,00
15	0,30	83,33	0,93	0,63
16	0,52	144,44	0,93	1,04
17	0,71	197,22	0,93	1,26
18	0,79	219,44	0,93	1,40
19	0,81	225,00	0,93	1,53
20	0,81	225,00	0,93	1,65
21	0,76	211,11	0,93	1,82
22	0,55	152,78	0,93	2,20
23	0,13	36,11	0	2,07

Tab. 4.17. Potřebná akumulace v P1 pro variantu IV

V P1 bude KJ pracovat 8 hodin denně na 93,7 % (cca. 92 % elektrického výkonu). Za těchto 8 hodin, které jsou v tabulce červeně vyznačeny, KJ vyrobí i teplo, které se bude spotřebovávat následujících 16 hodin. Tučně vyznačené číslo 2,2 GJ udává množství tepla, které je vyrobeno na těchto 16 hodin a které je třeba uchovat v akumulární nádobě. Rozhodl jsem se však, že navrhnu akumulaci o velikosti 2,3 GJ. Důvodem bylo zjištění, že s akumulací 2,3 GJ může KJ pracovat v P2 a P3 na maximální výkon, místo toho, aby pracovala se sníženým zatížením. Toto navýšení akumulace se do ceny nové akumulace výrazně nepromítne.

Navrhuji tedy ke stávající akumulaci vytvořit novou, která bude mít kapacitu 1,24 GJ. Nová akumulace bude využita ve všech třech provozech, téměř vždy na 100 %. Celkem se jedná přibližně o 150 dnů v roce.

Výpočet velikosti nové akumulární nádoby:

$$1,24 \text{ GJ} = 344,4 \text{ kWh},$$

$$V_z = \frac{Q_{zj} \cdot \tau_n}{c \cdot (t_n - t_z)} \quad (\text{m}^3) \quad [17] \quad (4.8)$$

$$V_z = \frac{344,4 \cdot 1}{1,163 \cdot (90 - 70)} = \mathbf{14,8 \text{ m}^3}$$

Velikost akumulární nádoby bude 14,8 m³.

4.5. Energetická bilance navržených KJ

V této části mé práce jsem stanovoval energetické bilance pro jednotlivé varianty. Vypočítané hodnoty jsem vložil do tabulek a grafů. V tabulkách lze vidět jak hodnoty pro jednotlivé měsíce, tak i pro jednotlivé provozy. Množství vyrobené elektřiny a tepla jsem dal do grafů spotřeby elektřiny a tepla a získal jsem tak přehledné zobrazení skutečně využitě elektřiny a tepla v budovách kolejí. Pro varianty s palivem rostlinný olej, jsem ještě přidal grafy zobrazující využití vyrobeného tepla, aby bylo vidět kolik tepla se musí mařit.

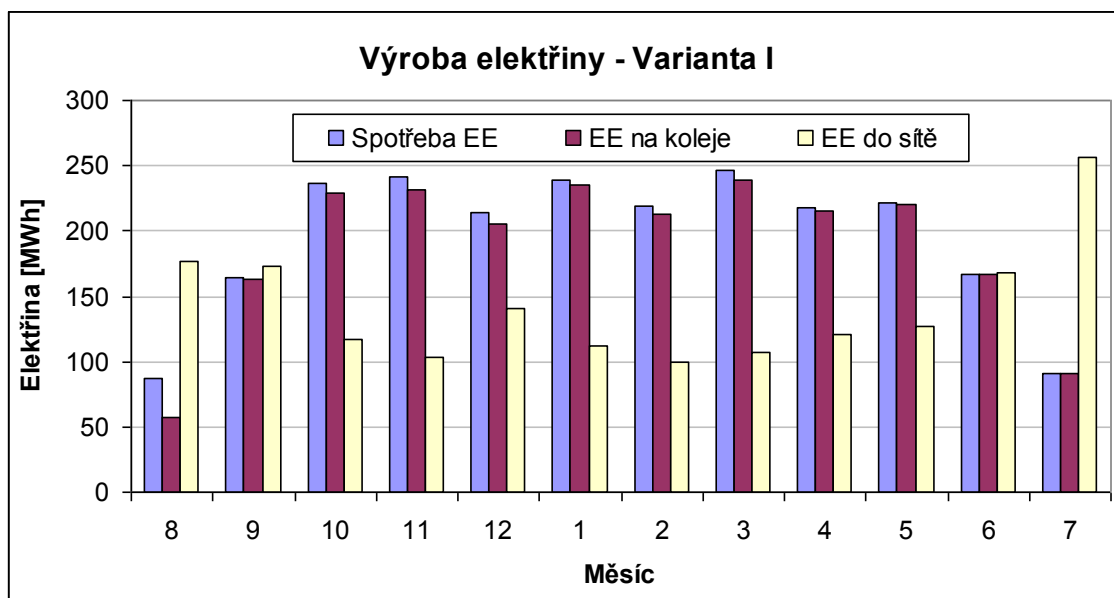
Varianta I. – SEV-MT 480P

Tato KJ vyrobí během roku velké množství tepla a elektřiny, nejvíce ze všech čtyř variant, avšak množství spotřebovaného paliva je také značné (Tab. 4.18.). Posledních 10 dní v měsíci srpnu je uvažována odstávka KJ z důvodu údržby.

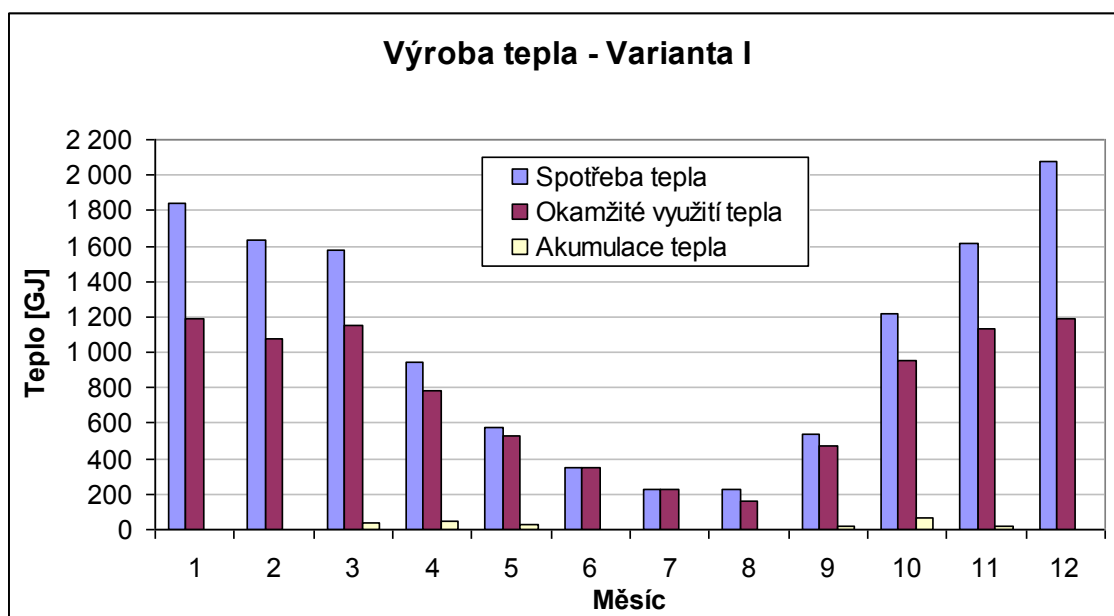
	Vyrobené teplo [GJ]	Okamžitě využitě teplo [GJ]	Akumulované teplo [GJ]	Využitě teplo celkem [GJ]	Mařené teplo [GJ]	Vyrobená elektřina [MWh]	Spotřebované palivo [l]
Leden	1 188,21	1 188,21	0,00	1 188,21	0,00	346,41	93 446,40
Únor	1 073,22	1 072,51	0,71	1 073,22	0,00	312,88	84 403,20
Březen	1 188,21	1 148,46	39,75	1 188,21	0,00	346,41	93 446,40
Duben	1 149,88	783,00	43,06	826,06	323,82	335,23	90 432,00
Květen	1 188,21	524,43	32,86	557,29	630,92	346,41	93 446,40
Červen	1 149,88	351,90	0,00	351,90	797,98	335,23	90 432,00
Červenec	1 188,21	230,95	0,00	230,95	957,26	346,41	93 446,40
Srpen	804,91	156,45	0,00	156,45	648,46	234,66	63 302,40
Září	1 149,88	476,46	23,46	499,92	649,96	335,23	90 432,00
Říjen	1 188,21	953,97	61,48	1 015,45	172,76	346,41	93 446,40
Listopad	1 149,88	1 134,33	15,55	1 149,88	0,00	335,23	90 432,00
Prosinec	1 188,21	1 188,21	0,00	1 188,21	0,00	346,41	93 446,40
Celkem	13 606,87	9 208,87	216,86	9 425,73	4 181,13	3 966,91	1 070 112,00
Provoz 1	2 376,41	461,90	0,00	461,90	1 914,51	692,81	186 892,80
Provoz 2	1 149,88	351,90	0,00	351,90	797,98	335,23	90 432,00
Provoz 3	10 080,58	8 395,07	216,86	8 611,93	1 468,65	2 938,87	792 787,20

Tab. 4.18. Energetická bilance – Varianta I

KJ je schopná pokrýt 96,7 % spotřeby elektřiny na kolejích (kromě špiček) a přitom ještě dodávat značné množství elektřiny do sítě (Graf 4.11.).

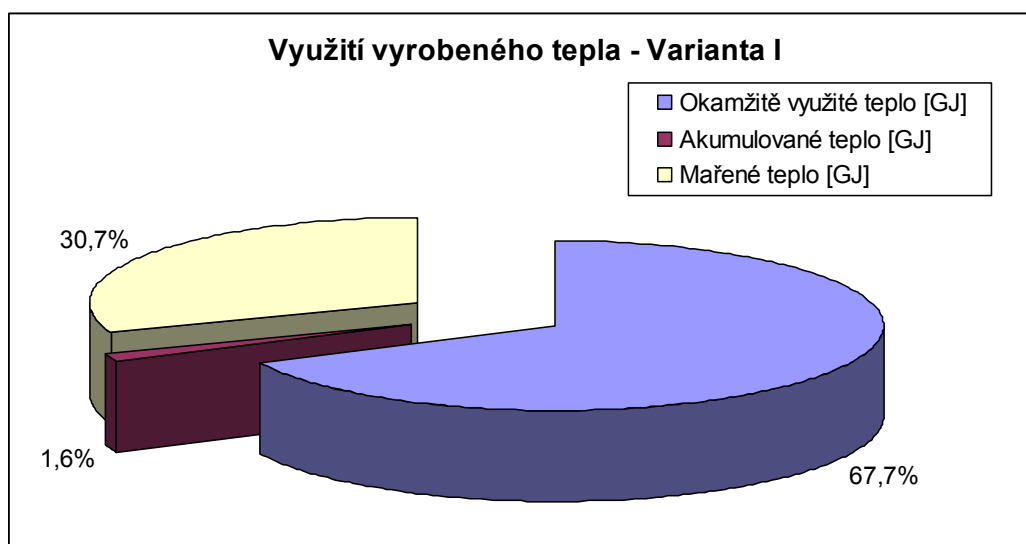


Graf 4.11. Výroba elektřiny – Varianta I



Graf 4.12. Výroba tepla – Varianta I

Na grafu Graf 4.12. lze vidět do jaké míry KJ jednotka pokrývá spotřebu tepla. Je schopná pokrýt celkem 73,4 % spotřeby tepla. Kromě měsíce října, kdy je akumulace tepla využita nejvíce z celého roku, je vidět, že akumulované teplo nehraje téměř žádnou roli ve využití vyrobeného tepla. Tuto skutečnost potvrzuje Graf 4.13., kde můžeme vidět využití vyrobeného tepla v procentech. Pouze 1,6 % vyrobeného tepla je využíváno pomocí akumulace. Možná až příliš velké množství tepla, a to 30,7 % je mařeno v chladiči. Jak velký vliv na ekonomickou stránku projektu to bude mít zjistíme v podkapitole 4.6..



Graf 4.13. Využití vyrobeného tepla – Varianta I

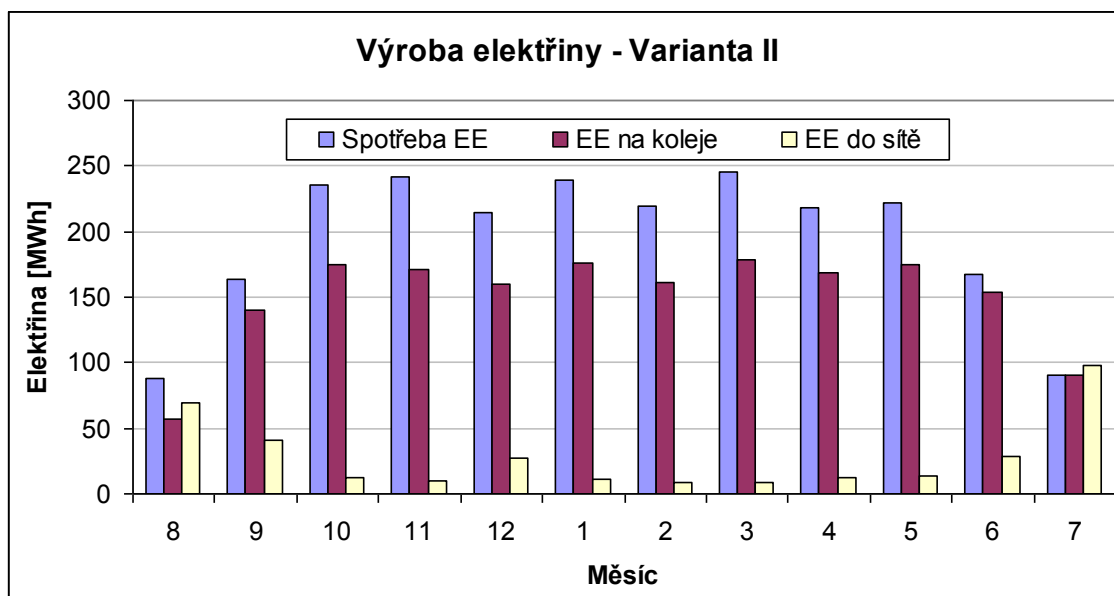
Varianta II. – SEV-DE 260P

U této varianty je také uvažována odstávka KJ z důvodu údržby po dobu posledních deseti dnů v měsíci srpnu. Energetická bilance této KJ je uvedena v tabulce Tab. 4.19.

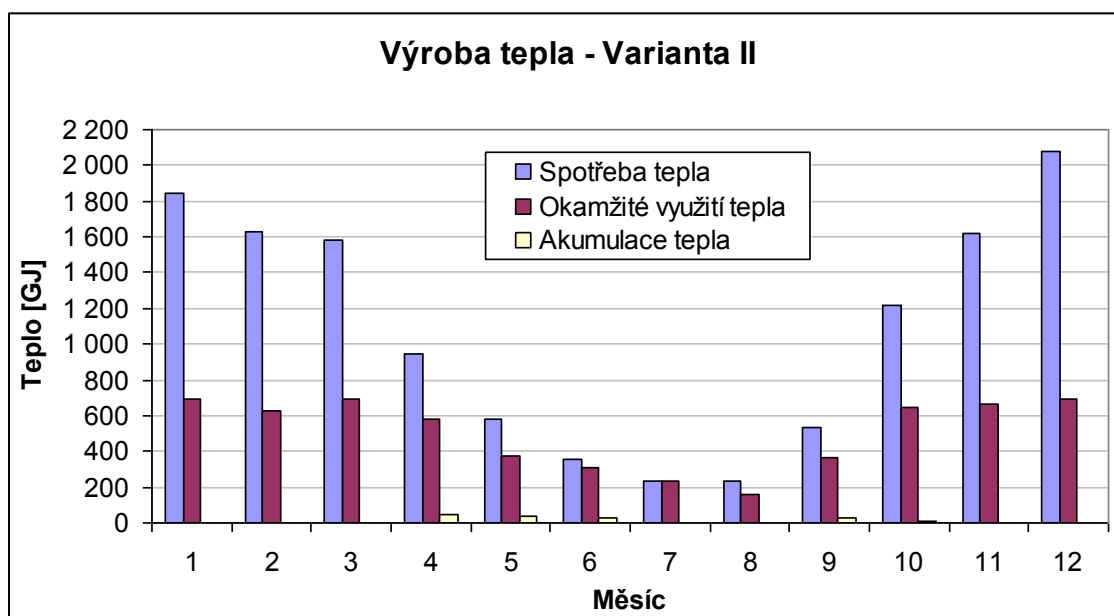
	Vyrobené teplo [GJ]	Okamžitě využité teplo [GJ]	Akumulované teplo [GJ]	Využitě teplo celkem [GJ]	Mařené teplo [GJ]	Vyrobená elektřina [MWh]	Spotřebované palivo [l]
Leden	689,42	689,42	0,00	689,42	0,00	187,64	51 708,00
Únor	622,70	622,70	0,00	622,70	0,00	169,48	46 704,00
Březen	689,42	689,42	0,00	689,42	0,00	187,64	51 708,00
Duben	667,18	583,42	42,47	625,90	41,28	181,58	50 040,00
Květen	689,42	376,53	38,16	414,69	274,73	187,64	51 708,00
Červen	667,18	307,68	31,80	339,48	327,70	181,58	50 040,00
Červenec	689,42	230,95	0,00	230,95	458,47	187,64	51 708,00
Srpen	467,03	156,45	0,00	156,45	310,58	127,11	35 028,00
Září	667,18	368,84	30,76	399,61	267,57	181,58	50 040,00
Říjen	689,42	649,05	4,92	653,97	35,45	187,64	51 708,00
Listopad	667,18	667,18	0,00	667,18	0,00	181,58	50 040,00
Prosinec	689,42	689,42	0,00	689,42	0,00	187,64	51 708,00
Celkem	7 894,97	6 031,06	148,12	6 179,18	1 715,79	2 148,74	592 140,00
Provoz 1	1 378,84	461,90	0,00	461,90	916,94	375,27	103 416,00
Provoz 2	667,18	307,68	31,80	339,48	327,70	181,58	50 040,00
Provoz 3	5 848,95	5 261,48	116,32	5 377,80	471,15	1 591,89	438 684,00

Tab. 4.19. Energetická bilance – Varianta II

KJ je schopná pokrýt 77,1 % spotřeby elektřiny. Dodávka elektřiny do sítě je celkem malá. Výjimku tvoří pouze červenec a srpen, kdy je množství elektřiny dodané KJ do sítě větší, než množství elektřiny dodané na koleje (Graf 4.14.).

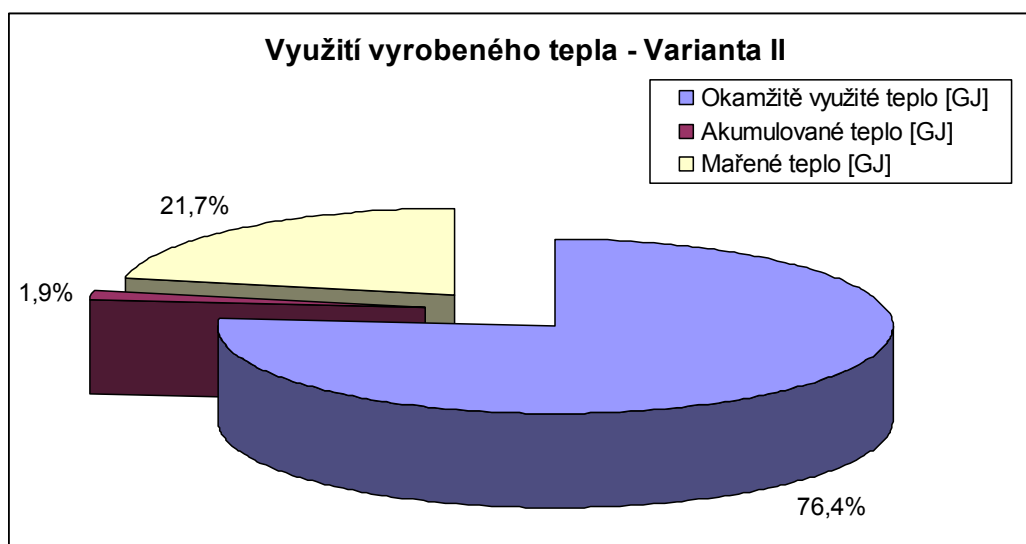


Graf 4.14. Výroba elektřiny – Varianta II



Graf 4.15. Výroba tepla – Varianta II

Jelikož má tato KJ oproti předchozí variantě nižší výkon, je spotřeba tepla pokryta v menší míře (Graf 4.15.). KJ je schopná pokrýt celkem 48,1 % spotřeby tepla. Značný rozdíl je však ve využití vyrobeného tepla. Z celkového množství vyrobeného tepla je 76,4 % okamžitě využito a množství mařeného tepla v chladiči tak pokleslo na přijatelnějších 21,7 % (Graf 4.16.). Pomocí akumulace je podobně jako v předešlé variantě využito opět jen malé množství tepla, a to konkrétně 1,9 %.



Graf 4.16. Využití vyrobeného tepla – Varianta II

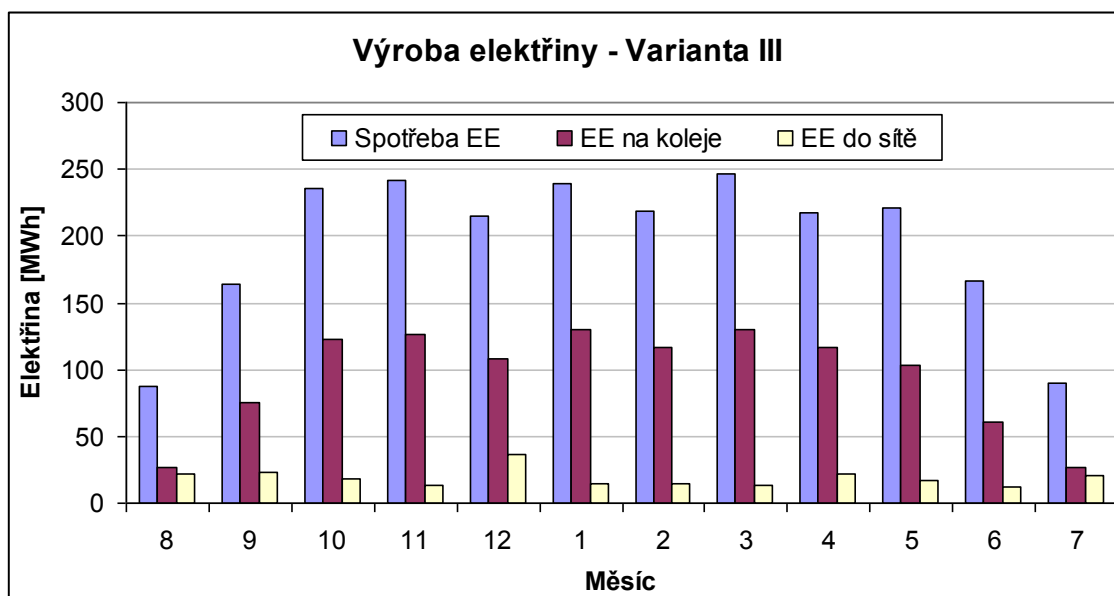
Varianta III. – Quanto D400

Údržba této KJ bude prováděna v době, kdy nebude v provozu. Maření tepla nebude zapotřebí, protože veškeré vyrobené teplo bude využito. Jelikož tato KJ nebude pracovat 24 hodin denně, nevyprobí tolik elektřiny a tepla, jako KJ v první variantě. Spotřebuje ale výrazně méně paliva (Tab. 4.20.).

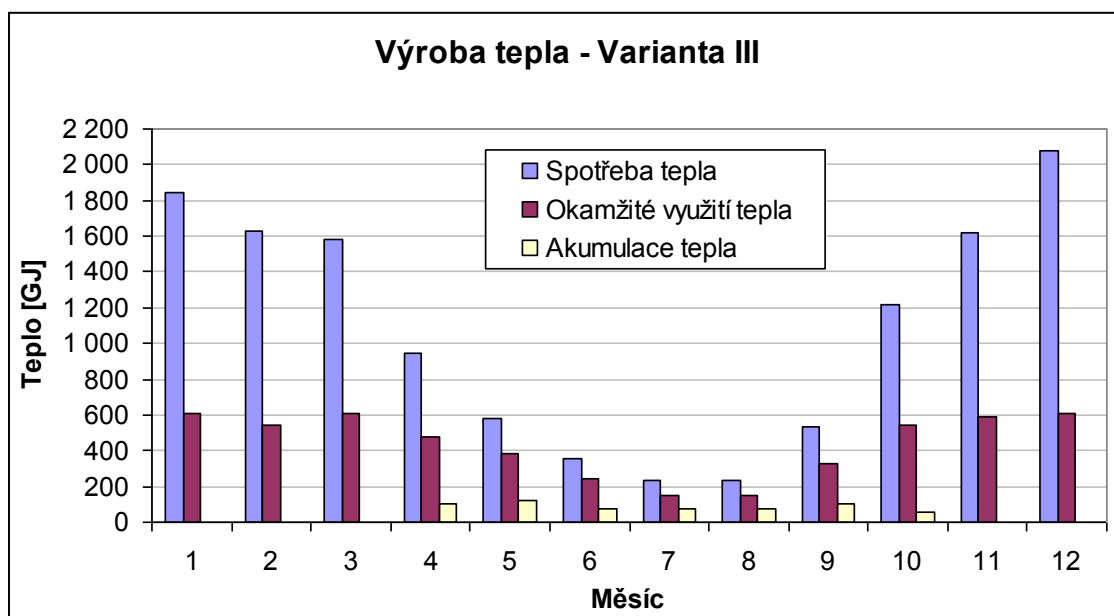
	Vyrobené teplo [GJ]	Okamžitě využité teplo [GJ]	Akumulované teplo [GJ]	Využití teplo celkem [GJ]	Vyrobená elektřina [MWh]	Spotřebované palivo [m ³]
Leden	605,32	605,32	0,00	605,32	144,34	37 200,00
Únor	546,74	546,74	0,00	546,74	130,37	33 600,00
Březen	605,32	603,97	1,35	605,32	144,34	37 200,00
Duben	579,28	478,88	100,40	579,28	138,13	35 600,00
Květen	504,43	380,18	124,25	504,43	120,28	31 000,00
Červen	322,97	247,98	74,99	322,97	72,87	19 372,80
Červenec	230,93	153,45	77,48	230,93	48,20	13 380,22
Srpen	230,93	153,45	77,48	230,93	48,20	13 380,22
Září	425,97	324,88	101,10	425,97	99,36	25 916,20
Říjen	592,30	540,13	52,17	592,30	141,23	36 400,00
Listopad	585,79	585,79	0,00	585,79	139,68	36 000,00
Prosinec	605,32	605,32	0,00	605,32	144,34	37 200,00
Celkem	5 835,30	5 226,10	609,20	5 835,30	1 371,32	356 249,44
Provoz 1	536,35	356,40	179,95	536,35	111,95	31 076,64
Provoz 2	322,97	247,98	74,99	322,97	72,87	19 372,80
Provoz 3	4 975,98	4 621,72	354,26	4 975,98	1 186,50	305 800,00

Tab. 4.20. Energetická bilance – Varianta III

Pokrytí spotřeby elektřiny pomocí KJ je v tomto případě 48,8 %, přičemž v letních měsících je spotřeba pokryta jen z malé části. Důvodem je provoz KJ se sníženým zatížením. Do sítě je během roku dodáno malé množství elektřiny (Graf 4.17.).



Graf 4.17. Výroba elektřiny – Varianta III



Graf 4.18. Výroba tepla – Varianta III

Pokrytí spotřeby tepla pomocí KJ je u této varianty 45,5 %. Spotřeba tepla je tak pokryta v daleko nižší míře, než je tomu u první varianty. Vyrobené teplo je však využito na 100 %. Z toho je 10,4 % využito pomocí akumulace. Akumulace je využívána od března do října, přičemž v březnu jen z velmi malé části (Graf 4.18.). Spotřeba tepla v červenci a srpnu je pokryta na 100 %.

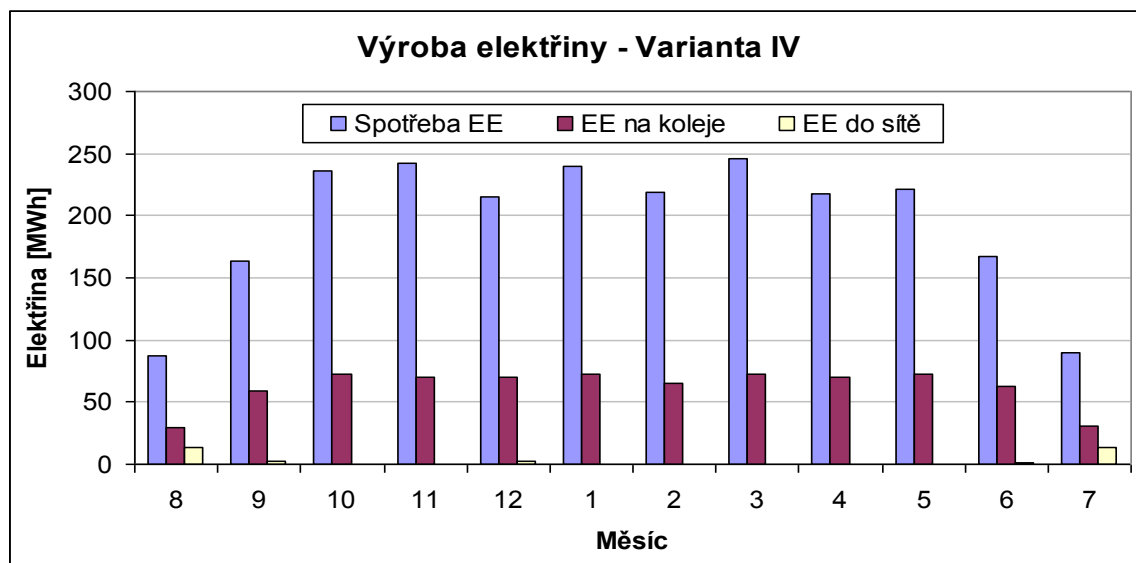
Varianta IV. – Cento T200

Údržba této KJ bude prováděna v době, kdy nebude v provozu. Maření tepla nebude zapotřebí, protože veškeré vyrobené teplo bude využito. Jelikož tato KJ nebude pracovat 24 hodin denně, nevyrobí tolik elektřiny a tepla, jako KJ ve druhé variantě. Spotřebuje ale výrazně méně paliva. Tato KJ vyrobí ze všech čtyř variant nejméně elektřiny a tepla a spotřebuje nejméně paliva (Tab. 4.21.).

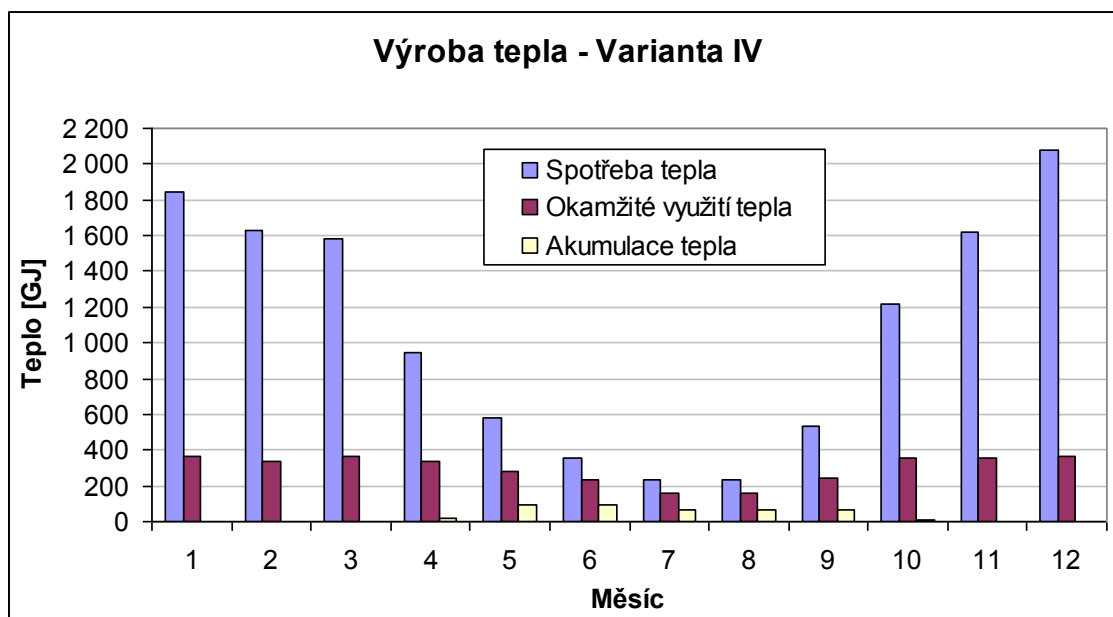
	Vyrobené teplo [GJ]	Okamžitě využitě teplo [GJ]	Akumulované teplo [GJ]	Využitě teplo celkem [GJ]	Vyrobená elektřina [MWh]	Spotřebované palivo [m ³]
Leden	369,62	369,62	0,00	369,62	72,17	21 055,20
Únor	333,85	333,85	0,00	333,85	65,18	19 017,60
Březen	369,62	369,62	0,00	369,62	72,17	21 055,20
Duben	357,70	338,83	18,87	357,70	69,84	20 376,00
Květen	369,62	276,89	92,73	369,62	72,17	21 055,20
Červen	327,89	232,17	95,72	327,89	64,02	18 678,00
Červenec	230,89	162,75	68,14	230,89	44,02	13 012,56
Srpen	230,89	162,75	68,14	230,89	44,02	13 012,56
Září	312,94	246,68	66,26	312,94	60,76	17 781,60
Říjen	369,62	357,65	11,97	369,62	72,17	21 055,20
Listopad	357,70	357,70	0,00	357,70	69,84	20 376,00
Prosinec	369,62	369,62	0,00	369,62	72,17	21 055,20
Celkem	3 999,95	3 578,13	421,81	3 999,95	778,53	227 530,32
Provoz 1	536,26	378,00	158,26	536,26	102,25	30 222,72
Provoz 2	327,89	232,17	95,72	327,89	64,02	18 678,00
Provoz 3	3 135,80	2 967,96	167,84	3 135,80	612,26	178 629,60

Tab. 4.21. Energetická bilance – Varianta IV

Tato KJ je schopná pokrýt pouze 31,8 % spotřeby elektřiny, přičemž do sítě je dodáno velmi malé množství elektřiny, a to převážně v letních měsících (Graf 4.19.).



Graf 4.19. Výroba elektřiny – Varianta IV



Graf 4.20. Výroba tepla – Varianta IV

KJ zvládne pokrýt pouze 31,2 % spotřeby tepla. Spotřeba tepla je tak pokryta v daleko nižší míře, než u druhé varianty. Vyrobené teplo je však využito na 100 %. Z toho je 10,6 % využito pomocí akumulace. Akumulace je využívána od dubna do října. Největší využití nastává v květnu a červnu (Graf 4.18.). V červenci a srpnu je pokryta spotřeba tepla na 100 %.

Souhrn všech variant

Do tabulky Tab. 4.22. jsem vložil nejdůležitější hodnoty ze všech čtyř energetických bilancí. Tyto hodnoty budou použity v následující podkapitole 4.6. pro výpočet provozních nákladů a příjmů.

	Využití tepla [GJ]	Elektřina pro koleje [MWh]		Elektřina do sítě [MWh]		Spotřebované palivo
Varianta I	9 425,73	2266,76		1700,15		1 070 112 litrů
Varianta II	6 179,18	1807,94		340,80		592 140 litrů
Varianta III	5 835,30	1142,58		228,75		356 249 m ³
VT 8 VT 12		113,91	1028,67	55,36	173,39	
Varianta IV	3 999,95	745,20		33,33		227 530 m ³
VT 8 VT 12		60,70	684,50	27,34	5,98	

Tab. 4.22. Souhrn všech energetických bilancí

4.6. Základní ekonomické vyhodnocení navržených variant

V této části jsem analyzoval ekonomickou náročnost navržených variant. Zkoumány byly jak počáteční investiční náklady, tak i náklady a příjmy spojené s provozem KJ v průběhu roku. Na závěr jsem všechny varianty vyhodnotil pomocí ekonomické bilance a určil tak, která varianta je nejvýnosnější.

4.6.1. Investiční náklady

Investiční náklady jsou náklady, které se musí vynaložit na to, aby mohl být projekt realizován. V tomto případě jsou investiční náklady členěny na tři položky, a to náklady na technologii (cena KJ, její dovoz, montáž a zapojení, rozvody tepla, čerpadla, měření a regulace, akumulární nádoba, nádoba na olej a okruh maření tepla) náklady na stavbu (stavební úpravy, komín s napojením, plynová přípojka a vyvedení elektrického výkonu) a ostatní náklady (projektová dokumentace). Investiční náklady jsou shrnuty v tabulce Tab. 4.23., přičemž nejvyšší náklady jsou u třetí varianty a nejnižší potom u čtvrté varianty.

Investiční náklady	Variantu I	Variantu II	Variantu III	Variantu IV
[tis. Kč]				
Technologie	10 577	7 887	11 308	4 480
Stavba	500	450	1 000	950
Ostatní	332	250	369	163
Náklady celkem	11 409	8 587	12 678	5 593

Tab. 4.23. Investiční náklady jednotlivých variant

4.6.2. Provozní náklady a příjmy

Provozní náklady jsou náklady, které je nutno vynaložit na provoz KJ v průběhu roku. Tyto náklady jsou uvedeny v tabulce Tab. 4.24. Nejvyšší náklady na provoz má první varianta, kvůli vysoké spotřebě paliva. Nejnižší náklady jsou u čtvrté varianty.

Provozní náklady	Variantu I	Variantu II	Variantu III	Variantu IV
[tis. Kč/rok]				
Náklady na palivo	21 402	11 843	3 206	2 048
Náklady na údržbu a servis	1 063	620	424	257
Náklady na pojištění	14	10	15	7
Náklady na poplatky za vyrobenou EE	2 168	1 174	749	426
Náklady na mzdy	36	36	36	36
Náklady na revize a měření	20	20	20	20
Náklady celkem	24 703	13 704	4 451	2 793

Tab. 4.24. Provozní náklady jednotlivých variant

Provozní příjmy jsou příjmy, které získáme v průběhu roku provozem KJ. Tyto příjmy jsou uvedeny v tabulce Tab. 4.25. Dle očekávání jsou nejvyšší příjmy u první varianty, avšak tyto příjmy jsou menší, než náklady na provoz KJ a proto již teď lze konstatovat, že její provoz nebude efektivní.

Provozní příjmy	Varianta I	Varianta II	Varianta III	Varianta IV
[tis. Kč/rok]				
Příjem z prodeje EE na koleje	6 800	5 424	3 428	2 236
Příjem z prodeje EE do sítě	2 040	409	274	40
Příjem z příspěvků KVET	179	97	1 919	1 085
Příjem ze zeleného bonusu EE	10 155	5 501	-	-
Příjem z příspěvku na decentralní výrobu EE do NN	254	138	88	50
Příjem z prodeje tepla	3 393	2 225	2 101	1 440
Příjmy celkem	22 821	13 792	7 810	4 851

Tab. 4.25. Provozní příjmy jednotlivých variant

4.6.3. Ekonomická bilance

Cílem ekonomické analýzy je zjistit vhodnost realizace jednotlivých opatření z ekonomického hlediska. Ekonomická analýza byla provedena na základě několika kritérií, z nichž nejdůležitější je čistá současná hodnota a vnitřní výnosové procento v podobě diskontovaného toku hotovosti za dobu životnosti opatření. Důležitým hodnotícím faktorem může být také finanční úspora na konci hodnotícího období. Ekonomická bilance jednotlivých variant je uvedena v tabulce Tab. 4.26.

V ekonomické analýze je nutné zohlednit následující doplňkové vstupní údaje:

- diskontní míru,
- doba porovnání (životnosti) opatření,
- cenový vývoj,
- odpisy,
- financování.

Diskontní míra

Pro stanovení současné hodnoty budoucích peněžních toků (příjmů a výdajů) se obvykle pracuje s jejich převodem na současnou hodnotu. Volba správné diskontní míry a diskontního faktoru je přitom klíčový prostředek, který daný převod umožňuje. Tento matematický aparát pak umožňuje pracovat s peněžními toky, která jsou opatřením vyvolány a to v různých časových obdobích. Pro výpočet diskontního faktoru je

nejvhodnější použít některý z tržních modelů, které jsou založeny na tržních datech bez subjektivního vlivu oceňovatele.

Pro výpočet diskontního faktoru by mohl být použit např. model CAPM (model oceňování kapitálových aktiv), jež umožňuje stanovit diskontní míru (a tedy minimální požadovaný výnos z investice) pro danou úroveň tržního rizika.

Jelikož se nejedná o žádné rizikové investice, diskontní faktor je zvolen ve výši 4 % pro všechny zkoumané varianty.

Doba porovnání

Doba porovnání se obvykle stanovuje na základě očekávané životnosti zařízení. Vzhledem k tomu, že u navrhovaných opatření se jedná o stejná zařízení s různým typem provozu (tj. provoz na ZP 7-12h/den nebo rostlinný olej na 24h/den), byly doby porovnání pro ekonomické vyhodnocení strojní části zvoleny následovně:

- KJ ve variantě I. a II. – 10 let (obnova 10 let),
- KJ ve variantě I. a II. – 15 let (obnova 15 let).

Cenový vývoj

Během doby provozování zařízení se může významně měnit inflace a tím i ceny. V obvyklém případě, pak především změny cen energie významně ovlivňují ekonomické výsledky energeticky zaměřených projektů. V porovnání není počítáno s meziročními změnami.

Odpisy a daň z příjmu

Při stanovení odpisů z investice se vychází z příslušných ustanovení zákona č. 586/1992 Sb. o dani z příjmu. Zařazení příslušných zařízení do jednotlivých odpisových skupin je provedeno v souladu s přílohou tohoto zákona, každé odpisové skupině jsou pak přiřazeny odpisové sazby resp. koeficienty. Ve všech opatřeních byla zvolena metoda lineárního (rovnoměrného) odepisování. Investiční náklady byly rozděleny pro zjednodušení na stavební a technologickou část.

- Technologická část - Odp.sk.3 – délka odepisování 10let
- Stavební část – Odp.sk.4 – délka odepisování 20let

Ve výpočtu ekonomické bilance bylo také počítáno s daní s příjmů ve výši 20%.

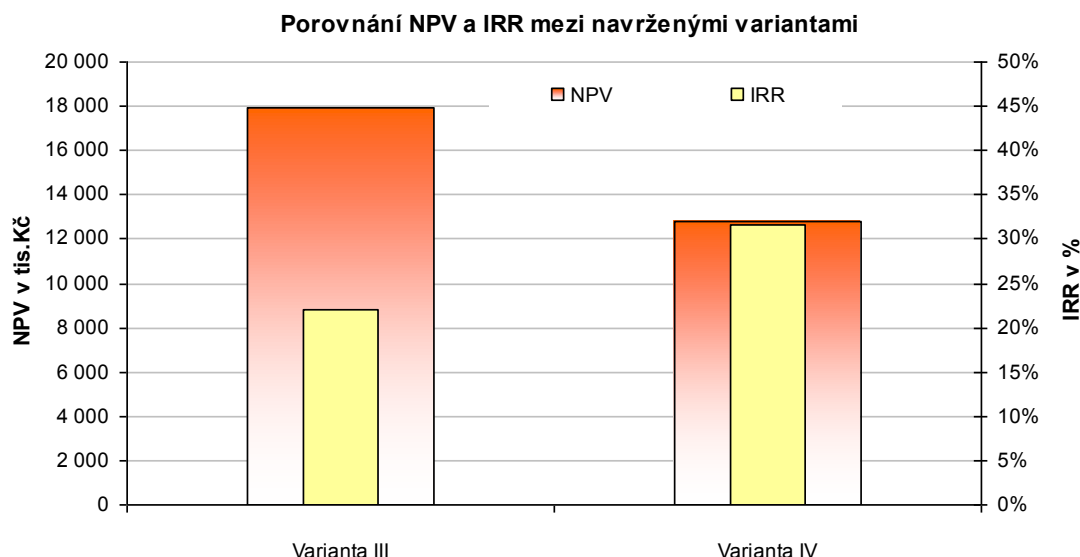
Financování

Způsob financování navržených opatření byl řešen pouze vlastními finančními prostředky.

Ukazatel ve sledovaném období	Jednotka	Varianta I	Varianta II	Varianta III	Varianta IV
Investiční náklady	tis. Kč	11 409,3	8 587,0	12 677,7	5 592,7
Provozní náklady	tis. Kč	24 703,3	13 703,7	4 451,1	2 792,8
Provozní příjmy	tis. Kč	22 821,4	13 792,3	7 809,5	4 850,9
Čistá současná hodnota (=NPV)	tis.Kč	-25 559	-7 921	17 919	12 800
Vnitřní výnosové procento (=IRR)	%	Není jednoznačné řešení		22,07%	31,54%
Doba splacení (prostá)	roky	> Tž	> Tž	5,2	4,1
Doba splacení (diskontovaná)	roky	> Tž	> Tž	5,7	4,4
Rok hodnocení		2012	2012	2012	2012
Diskont	%	4%	4%	4%	4%
Doba životnosti	roky	10 let	10 let	15 let	15 let
Financování – vlastní kapitál	%	100%	100%	100%	100%
Cash – Flow (=CF)	tis.Kč	-28 503	-7 783	27 573	18 645

Tab. 4.26. Ekonomická bilance jednotlivých variant – vypočtená v programu vytvořeném pracovníky skupiny Energetické služby na Výzkumném energetickém centru

Červeně vyznačená čísla u prvních dvou variant značí, že provoz těchto KJ bude ekonomicky nevýhodný. Tyto KJ nejsou schopny generovat zisk, vložená investice by se nikdy nevrátila. Čtvrtá varianta dosáhne nejrychlejšího splacení a nejvyššího zhodnocení vloženého kapitálu. Avšak nejefektivnější je na základě NPV varianta třetí. Tato varianta dosáhne na konci své životnosti nejvyššího zisku. Pro lepší ilustraci je NPV a IRR třetí a čtvrté varianty porovnáno v následujícím grafu (Graf 4.21.).



Graf 4.21. Porovnání NPV a IRR mezi navrženými variantami

4.7. Srovnání KJ na rostlinný olej a zemní plyn

Srovnání KJ na ZP a rostlinný olej jsem provedl formou SWOT analýzy v tabulce Tab. 4.27. Jsou v ní uvedeny podstatné silné a slabé stránky podle druhu použitého paliva v KJ.

	Rostlinný olej	Zemní plyn
Silné stránky	<ul style="list-style-type: none"> - šetření fosilními palivy - vysoké pokrytí spotřeby EE a tepla - nezávislý zdroj paliva – možné použít jako nouzový zdroj - podporovaná výroba EE - garantovaná státem ve formě zelených bonusů nebo výkupních cen 	<ul style="list-style-type: none"> - při provozu sledování spotřeby tepla má velice dobrou ekonomiku - široké spektrum výrobců KJ – možnost většího výběru - nižší cena paliva s menšími výkyvy - nižší spotřeba paliva - podstatně nižší provozní náklady - minimální produkce TZL - jednodušší obsluha
Slabé stránky	<ul style="list-style-type: none"> - kvůli provozu 24 h. denně bude dříve potřeba GO - cena paliva je v současnosti vysoká (odvislá od ceny nafty) – velmi špatná ekonomika - potřeba velké nádoby pro skladování rostlinného oleje – olejové hospodářství - omezený výběr KJ – 2 – 3 dodavatelé ze zahraničí - produkce TZL 	<ul style="list-style-type: none"> - nutno vybudovat plynovou přípojku - potřeba velké akumulace tepla - nižší pokrytí spotřeby EE a tepla z důvodu nutnosti dodržení parametru KVET dle vyhl.344/2009 Sb.

Tab. 4.27. SWOT analýza KJ podle druhu použitého paliva

5. Závěr

Předmětem této práce bylo navrhnout kogenerační jednotku, jako zdroj elektrické energie a tepla pro areál kolejí VŠB – TU Ostrava. Instalace kogenerační jednotky umožní decentralizovat výrobu elektřiny a tepla. Pro areál kolejí to bude znamenat úsporu výdajů na vytápění a spotřebu elektrické energie.

Na začátku praktické části byl zmapován současný stav zásobování areálu kolejí elektřinou, teplem a zemním plynem. Následoval výpočet potřeby tepla v průběhu roku z průměrných měsíčních hodnot spotřeby tepla pomocí denostupňové metody. Na základě vypočtených hodnot jsem navrhnul čtyři varianty řešení. Jedná se o dvě jednotky na rostlinný olej od společnosti SEVA Energie AG a dvě jednotky na zemní plyn od společnosti TEDOM a.s. Dále byla zkoumána možnost instalace akumulární nádoby pro všechny navržené varianty. Pro jednotlivé kogenerační jednotky pak byla stanovena energetická bilance, která tvoří základ pro výpočet ekonomiky projektu. Na závěr bylo provedeno ekonomické vyhodnocení jednotlivých variant a porovnání silných a slabých stránek projektu, podle druhu použitého paliva.

Navržené KJ na rostlinný olej jsou podle ekonomického vyhodnocení nerentabilní. U první varianty jsou provozní náklady dokonce vyšší, než provozní příjmy. Druhá varianta by se potom splácela přibližně 97 let, což vysoce přesahuje dobu její životnosti. Hlavním důvodem je v současné době vysoká cena paliva, která je odvislá od ceny nafty. Pokud by cena rostlinného oleje poklesla pod 18 Kč, byly by tyto jednotky na hranici ekonomické soběstačnosti, což znamená, že jejich doba návratnosti by nepřesáhla dobu životnosti. K jistému zlepšení ekonomiky by také vedlo snížení počtu hodin provozu v průběhu roku tak, aby KJ byly v době minimálního využití tepelného výkonu odstaveny. Došlo by tak k poklesu zmařeného tepla a spotřeby paliva. Nevýhodou je také potřeba velkého prostoru pro nádobu na skladování rostlinného oleje. Olej v nádobě je udržován v kapalném stavu pomocí tepla z KJ. Odebírané teplo pro ohřev oleje snižuje využitelný tepelný výkon KJ o 2,5 %.

Navržené KJ na zemní plyn jsou podle ekonomického vyhodnocení výnosné. Pro jejich instalaci hovoří nižší cena paliva s menšími výkyvy oproti KJ na rostlinný olej. Velmi výhodná se zdá být čtvrtá varianta. U této KJ jsou nejnižší investiční i provozní náklady a její splacení proběhne v horizontu 4,5 let. Tato varianta se vyznačuje také vysokým vnitřním výnosovým procentem, a to konkrétně 31,5 %. Toto řešení je vhodné

v případě nízkého počátečního kapitálu. Avšak pokrytí spotřeby tepla a elektřiny touto KJ se pohybuje pouze okolo 30 %. Dle mého názoru je výhodnější třetí varianta. Její splacení sice bude trvat téměř 6 let, ale pokrytí spotřeby elektřiny a tepla na kolejích bude výrazně vyšší. Tato varianta má nižší výnosové procento 22,1 %. Naproti tomu je zisk na konci doby životnosti (15 let) ve výši 27,6 mil.Kč a současná čistá hodnota je 17,9 mil.Kč, což je vyšší než u čtvrté varianty.

Navrhuji tedy instalaci třetí varianty. Pro tuto variantu jsem také nakreslil výkres akumulční nádoby, který je k nahlédnutí v příloze Příloha č.7.

6. Použité zdroje

- [1] DVORSKÝ E., HEJTMÁNKOVÁ P.: *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*, BEN – technická literatura, Praha 2005, ISBN 80-7300-118-7.
- [2] KRBEK J., POLESNÝ B.: *Kogenerační jednotky - Zřizování a provoz*, GAS s.r.o., Praha 2007, ISBN 978-80-7328-151-9.
- [3] KRBEK J., POLESNÝ B.: *Malé kogenerační jednotky v komunální a průmyslové energetice*, PC-DIR Real s.r.o., Brno 1999, ISBN 80-85895-23-4.
- [4] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU: *Kombinovaná výroba elektřiny a tepla v roce 2008*, duben 2010. Dostupné na WWW: <http://www.mpo.cz/dokument72588.html>
- [5] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD: *Cenové rozhodnutí energetického regulačního úřadu č. 2/2010*, listopad 2010. Dostupné na WWW: <http://eru.cz/>
- [6] GE JENBACHER: *Kogenerační jednotka*. Dostupná na WWW: http://www.jenbacher.cz/ctyri_vyrobni_rady.html
- [7] TEDOM a.s.: *Kogenerační jednotka*. Dostupná na WWW: <http://kogenerace.tedom.cz/download-prospekty-v-pdf--1.html>
- [8] MOTORGAS: *Kogenerační jednotky*. Dostupné na WWW: <http://www.motorgas.cz/cz/reference/>
- [9] WIKIPEDIA: *Druhy olejů*. Dostupné na WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Olej#Potravin.C3.A1.C5.99sk.C3.A9>
- [10] SUCHÁNEK P.: *Řepkový olej, český král olejů*, říjen 2008. Dostupné na WWW: <http://www.hobza.cz/pdf/repkovy-olej-cesky-kral-oleju.pdf>
- [11] WIKIPEDIA: *Řepkový olej*. Dostupné na WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%98epkov%C3%BD_olej
- [12] SEVA ENERGIE AG. Dostupná na WWW: <http://www.seva.de/>
- [13] PROVOZNÍ EVIDENCE ZDROJŮ VŠB – TUO.
- [14] *Vyhláška č. 194/2007 Sb.*
- [15] ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV OSTRAVA – PORUBA.
- [16] TEDOM a.s.: *Technické specifikace KJ*.
- [17] KOLEKTIV AUTORŮ POD VEDENÍM V. VALENTY: *Topenářská příručka 3*, Agentura ČSTZ, s.r.o., Praha 2007, ISBN 978-80-86028-13-2.
- [18] *Vyhláška č. 344/2009 Sb.*

7. Seznam příloh

- Příloha č. 1: Předávací stanice
- Příloha č. 2: Napojení KJ
- Příloha č. 3: Technický list kogenerační jednotky SEV-MT 480P
- Příloha č. 4: Technický list kogenerační jednotky SEV-DE 260P
- Příloha č. 5: Technická specifikace kogenerační jednotky Quanto D400
- Příloha č. 6: Technická specifikace kogenerační jednotky Cento T200
- Příloha č. 7: Výkres akumulční nádoby